

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Rozbor vlivu technologických parametrů vstřikování a druhu plastu na deformace jednoduchých konstrukcí dílů

Influence of technological parameters of injection molding and the type of plastic on deformation of simple construction parts

Jan Šoltýs

KSP – TP – B

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. - *TU v Liberci*
Konzultant bakalářské práce: Ing. Luboš Běhálek - *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 46

Počet tabulek: 8

Počet příloh: 4

Počet obrázků: 24

Datum: 24. 5. 2013

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Jan Šoltýs

Téma práce: Rozbor vlivu technologických parametrů vstřikování a druhu plastu na deformace jednoduchých konstrukcí dílů

Influence of technological parameters of injection molding and the type of plastic on deformation of simple construction parts.

Číslo BP: KSP – TP – B

Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. - *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Luboš Běhálek - *TU v Liberci*

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá vlivem technologických parametrů, charakteru vtoku a druhu materiálu na deformace vznikající při vstřikování termoplastů. Pro získání těchto výsledků byl využit simulační software pro analýzu vstřikovacího cyklu. Rozbor analýz a jejich vyhodnocení jsou zpracovány v experimentální části této práce.

Abstract:

This thesis examines the influence of technological parameters, the nature of the intake and the type of material on deformations that occur during injection molding. Simulation software for analysis of the injection molding cycle was used to obtain the results. Analyses and its evaluations are elaborated in the experimental part of this work.

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. května 2013

.....
Jan Šoltýs

Řepov 99

293 01 Mladá Boleslav

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Aleši Auspergerovi, Ph.D. za odborné vedení, věnovaný čas a cenné připomínky, které mi poskytl při zpracování této práce. Dále patří poděkování celé mé rodině, zejména rodičům za podporu během studia.



OBSAH:

1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1 Technologie vstřikování termoplastů	10
2.2 Charakteristika termoplastů	11
2.3 Smrštění a jeho vliv na vznik deformací	11
2.3.1 Výrobní smrštění	12
2.3.2 Dodatečné smrštění	12
2.4 Faktory ovlivňující smrštění	13
2.4.1 Vliv struktury vstřikovaného materiálu	13
2.4.2 Vliv plniva vstřikovaného plastu	14
2.4.2.1 Nevzdušňující plniva	14
2.4.2.2 Vzdušňující plniva	14
2.5 Parametry procesu vstřikování	15
2.5.1 Teplota taveniny – T_{tav}	15
2.5.2 Teplota formy – T_f	16
2.5.3 Fáze dotlaku	17
2.5.4 Doba chlazení výstřiku ve formě – t_{ch}	17
2.5.5 Doba plnění dutiny formy – t_v	17
2.6 Vady výstřiků	18
2.6.1 Vady zjevné	18
2.6.2 Vady skryté	18
2.7 Vliv některých konstrukčních prvků na deformace tvaru výstřiku	19
2.7.1 Tloušťka stěny	19
2.7.2 Rohy a ostré úhly	20
2.7.3 T-profil, žebro	21
2.7.4 Nejčastější druhy studených vtoků	22
2.7.5 Umístění vtoků	23



3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	24
3.1 Popis programu Cadmould.....	24
3.2 Použité materiály pro simulace v Cadmould.....	24
3.3 Díly a jejich polohy vtoků pro simulace vstřikování.....	28
3.4 Nastavení parametrů procesu vstřikování v programu Cadmould	29
3.5 Měření deformací v simulačním programu	30
3.6 Zpracování výsledků analýzy vstřikování	30
3.6.1 Výsledky simulací vstřikovaného dílu č. 1: „DESKA“	31
3.6.2 Výsledky simulací vstřikovaného dílu č. 2: „KELÍMEK“	34
3.6.3 Výsledky simulací vstřikovaného dílu č. 3: „MISKA“	36
3.6.4 Výsledky simulací vstřikovaného dílu č. 4 : „VÍČKO“	39
3.7 Obecné zhodnocení vlivu změn procesních parametrů na velikost deformace	41
4. ZÁVĚR.....	42
SEZNAM LITERATURY	43
SEZNAM PŘÍLOH	46



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

3D	Označení trojrozměrného prostoru	
3D-F	Označení technologie výpočtu 3D modelu	
CAE	Computer Aided Engineering - počítačem podporované konstruování	
CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování	
STL	Souborový formát pro účely vytvoření optimalizované polygonové sítě	
ITT	Index toku taveniny	
PS	Polystyren	
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	
PMMA	Polymethylmetakrylát	
PC	Polykarbonát	
PES	Polyethersulfon	
PP	Polypropylen	
POM	Polyoxymethylen	
PBT	Polybutylentetraftalát	
PET	Polyethylentetraftalát	
PPS	Polyfenylsulfid	
T_{tav}	Teplota taveniny	[°C]
T_f	Teplota formy	[°C]
t_d	Doba dotlaku	[s]
t_{ch}	Doba chlazení výstřiku ve formě	[s]
t_v	Doba plnění dutiny formy	[s]
p_d	Dotlak	[MPa]

1. ÚVOD

V dnešní době jsou výrobky z plastů neodmyslitelnou součástí každodenního života lidí po celém světě. Z plastů je možné díky různým zpracovatelským technologiím vyrábět výrobky nejrůznějších tvarů a velikostí s velmi dobrým poměrem ceny a kvality. Postupně tak čím dál více nahrazují původní materiály jako je dřevo, kov nebo sklo.

Nejrozšířenější technologií zpracování plastů je technologie vstřikování, která se vyznačuje vysokou produktivitou, relativně nízkými náklady na provoz, avšak vysokými pořizovacími náklady. Vlivem konkurenčního boje mezi společnostmi je snaha o neustálé snižování těchto nákladů. Jedním ze způsobů tak může být využití změn procesních parametrů. Při hledání ideálních hodnot parametrů systémem pokus - omyl jsou náklady na výzkum velmi vysoké a navíc s předem nejasným výsledkem. Proto se nabízí využití výpočetní techniky pro simulace vstřikovacího procesu a jeho analýz. Tyto simulace dokážou odhalit případné chyby či nedostatky v konstrukci vstřikovaného dílu a zároveň také pomáhají stanovit optimální technologické parametry. Díky tomu lze účinně předcházet vzniku vad a deformací výstřiku ještě před samotnou výrobou vstřikovací formy. To samozřejmě vede ke značnému urychlení vývojové části a tím tedy i ke snížení pořizovacích nákladů. Tyto simulace však mohou být užitečné i pro již zaběhlou výrobu, kde mohou být využity ke zkrácení času vstřikovacího cyklu, zlepšení jakosti výrobků, testování nových druhů plastů atd.

Při tvorbě této bakalářské práce byl využit simulační software Cadmould 3D-F, za pomoci kterého byly zjišťovány vlivy procesních parametrů vstřikování, druhu plastu a charakteru vtoku na tvar a velikost deformací.

Cílem práce je snaha o nalezení obecné závislosti změn technologických parametrů a druhu materiálu na velikost deformace.

2. TEORETICKÁ ČÁST

Na díly vyráběné technologií vstřikováním jsou kladeny vysoké požadavky z hlediska přesnosti tvaru, rozměrů a vzhledu. Proto se výrobci snaží různými způsoby předcházet vzniku vad a deformací, které v důsledku vstřikování termoplastů vznikají. Ty však mohou být následkem nevhodně zvolené konstrukce, technologických parametrů, polohy vtoku atd. Teoretická část je věnována popisu parametrů, které tyto vady a deformace přímo ovlivňují.

2.1 Technologie vstřikování termoplastů

Technologie vstřikování je proces diskontinuální, cyklický a je vhodný pro zpracování většiny druhů termoplastů, částečně i pro některé reaktoplasty a kaučuky. Tato technologie spočívá ve vstříknutí dávky plastifikovaného materiálu vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde tavenina následně ztuhne v konečný výrobek. Dají se tak vyrábět polotovary nebo konečné výrobky, které mají dobrou rozměrovou i tvarovou přesnost.

Základem pro různé modifikace technologie vstřikování plastů je, připravit z předem vyrobeného granulátu co nejhomogennější taveninu. To zajišťuje pracovní část stroje tím, že granulát dopravuje do tavící komory, kde se granulát taví, vlivem otáčení šneku se tavenina homogenizuje a dopravuje se před čelo šneku. Po dostatečné plastikaci a homogenizaci plastu se tavenina vstříkne do dutiny formy, následuje fáze dotlaku pro snížení smrštění a rozměrových změn. Zároveň plast ve formě chladne a tím ztuhne na konečný výrobek. Nakonec se forma otevře a vyhazovacím systémem je hotový výrobek odstraněn z formy.

K přednostem vstřikování také patří krátký čas cyklu, možnost vyrábět tvarově složité součásti, jednoduchá automatizace, konstrukční flexibilita, díky které je možné vyrábět hotové výrobky bez nutnosti konečných úprav povrchu a montážních operací.

Mezi hlavní nevýhody patří vysoké investiční náklady a časová náročnost pro výrobu forem, proto je tato technologie vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [1]

2.2 Charakteristika termoplastů

Termoplasty jsou homogenní makromolekulární látky s lineárními nebo rozvětvenými řetězci. Zpracovatelnost termoplastů je určena hlavně odolností materiálu proti tepelné degradaci během vstřikování a tekutostí, tj. schopností vyplnit dokonale složité a tenkostěnné tvarové dutiny formy. Materiál dobře odolný proti degradaci má dostatečně široké pásmo zpracovatelských teplot a smí mít delší dobu prodlevy v tavící komoře vstřikovacího stroje.

Tekutost materiálu dává konstruktérovi výrobku představu o členitosti, rozměrnosti a tenkostěnnosti, které může v konkrétním případě aplikovat. Lepší tekutost, tj. nižší viskozitu taveniny, mají u daného polymeru typy s nižší molekulovou hmotností, nese to však sebou jistý pokles houževnatosti a pevnosti. Pro mechanicky namáhané výrobky se obvykle volí polymery s vyšší molekulovou hmotností na úkor nižší tekutosti, což znamená omezení tvaru výrobku na jednodušší tvary se silnějšími stěnami. Tekutost se udává indexem toku taveniny ITT. Tato hodnota vyjadřuje množství taveniny v gramech, které při definované teplotě daného polymeru a pod definovaným tlakem proteče trysku o předepsaném průřezu za 10 minut. Vyšší hodnota ITT znamená vyšší tekutost polymeru. [2]

2.3 Smrštění a jeho vliv na vznik deformací

Deformace výrobku je výsledkem působení součtového vlivu propadlin, dutin, lineárního smrštění a obsahu vnitřního pnutí s ohledem na tvarové prvky, které se na výstřiku nacházejí. V největší míře je deformace výsledkem působení rozdílných složek smrštění, zejména:

- Odlišného smrštění ve směru toku taveniny a ve směru kolmém na tok taveniny, při zdůraznění anizotropie smrštění u materiálů plněných vyztužujícími plnivy
- Různých hodnot smrštění u výstřiku s rozdílnými tloušťkami stěn
- Rozdílného místního smrštění v důsledku lokálních změn teploty formy nebo místními rozdíly působení dotlakové fáze.

Při vstřikování jakéhokoliv termoplastu amorfního (např. PS, ABS, PMMA, PC, PES) nebo částečně krystalického (např. PP, POM, PA, PBT, PET, PPS)

platí, že rozměry výstřiku bezprostředně po jeho vyhození z formy jsou rozdílné od rozměrů měřených po nějaké době od jeho výroby.

Smrštění je tedy objemová změna, která vzniká při tuhnutí polymerních tavenin, jejíž základní příčinou je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů, u částečně krystalických plastů jsou navíc příčinou krystalizační změny. V konstruktérské praxi je určení rozměrů tvářecích částí vstřikovacích forem, včetně tolerance rozměrů jedním z rozhodujících úkonů, protože rozměry formy tvoří základní předpoklad pro dosažení optimálních rozměrů výstřiku. [3]

Konstruktér proto musí počítat se smrštěním vstřikovaného dílu a to nejen v průběhu vstřikovacího procesu, ale i po jeho ukončení, kdy probíhá dodatečné smrštění. Výrobce plastu (granulátu) obvykle uvádí v materiálovém listu hodnoty smrštění. Tyto hodnoty však byly naměřeny na zkušebních tělesech v laboratorních podmínkách a tak mají spíše informativní charakter. Obvykle výrobce plastu nedokumentuje anizotropii smrštění vyjádřenou rozdílem smrštění ve směru toku taveniny a ve směru kolmém na tok taveniny.

Z výše uvedených důvodů se tak mohou skutečné hodnoty smrštění na konkrétním výstřiku značně lišit od hodnot smrštění uvedených v materiálovém listu, v závislosti na tloušťce stěny, členitosti výstřiku, vtokové soustavě či technologických podmínkách, z nichž dominantní je dotlaková fáze a u semikrystalických termoplastů také teplota formy. [4]

Rozlišujeme dva základní druhy smrštění – **výrobní** a **dodatečné**.

2.3.1 Výrobní smrštění

Výrobní smrštění je rozdíl mezi rozměrem daným formou při 23 °C a rozměrem výstřiku z téže formy měřeným v rozmezí 16 až 24 hodin po vyhození z formy a skladovaném v suchém prostředí, tak aby nedošlo k nasákavosti. Toto smrštění roste s vyšší teplotou formy, s kratší dobou chlazení a s rostoucí tloušťkou stěny. [5], [6]

2.3.2 Dodatečné smrštění

Dodatečné smrštění výstřiku nastává v důsledku relaxace vnitřních napětí spolu s re-orientačními procesy, při působení vyšších teplot nebo v důsledku

dokrystalizace. Jelikož se vstřikované výrobky začínají používat relativně brzy po výrobě, probíhá dodatečné smrštění často až s funkčními rozměrovými změnami výrobku. Tato změna rozměrů může za nepříznivých podmínek způsobit až nefunkčnost daného výrobku. Dodatečné smrštění lze omezit vhodným tepelným zpracováním (jelikož se dodatečné smrštění při vyšších teplotách urychluje). Provádí se tak temperováním v horké komoře při teplotě dané konkrétnímu plastu. [5], [6]

2.4 Faktory ovlivňující smrštění

Obecně platí, že smrštění ovlivňují všechny složky vstupující do procesu vstřikování dílů z termoplastů, tj.: konstrukce výrobku, vstřikovaný materiál, forma a výrobní proces. Tyto jednotlivé složky ovlivňující smrštění jsou navíc na sobě závislé a navzájem se ovlivňují. Proto se obvykle hodnotí vliv jednotlivých základních faktorů samostatně za předpokladu, že ostatní parametry jsou nastaveny na optimální úrovni. [3]

2.4.1 Vliv struktury vstřikovaného materiálu

Pro amorfní neplněný termoplast obecně platí, že smrštění je menší než 1%, obvykle v rozmezí 0,3 až 0,8%. Podél toku taveniny je smrštění větší, než ve směru kolmo na tok taveniny. Mají relativně izotropní hodnoty smrštění a tedy i nižší tendenci k deformacím. Po vyhození výstřiku z amorfního materiálu z formy dosahuje hodnota jeho smrštění cca 90 až 96% z celkové hodnoty smrštění. Po 3 až 6 hodinách obvykle dosáhne prakticky 100% hodnoty smrštění. Dodatečné smrštění je v případě amorfních materiálu malé 5 až 10%.

U částečně krystalického neplněného termoplastu je smrštění obvykle větší než 1%. V důsledku ochlazování tavenin částečně krystalických termoplastů dochází ke krystalizaci, která významně ovlivňuje objemové smrštění výstřiku. Vlastnosti výstřiku jsou tak velmi závislé na času, teplotě a místě vzniku krystalické struktury. Nukleace, vznik krystalů a jejich růst jsou závislé na rychlosti (gradientu) ochlazování. Pomalý pokles teploty taveniny (nízký gradient chlazení, vysoká teplota formy) má za následek vysoký stupeň krystalizace a tedy i velké smrštění. Rychlý pokles teploty taveniny při chlazení naopak zpomaluje nukleační procesy a tím vzniká struktura s nižším

stupněm krystalizace a výstřik tak má nižší smrštění. Vzniká však nebezpečí dodatečného smrštění vlivem dokrystalizace. [3]

2.4.2 Vliv plniva vstřikovaného plastu

Polymerní materiály s plnivem se nazývají kompozitními. Kompozitní materiály jsou definovány jako materiálové struktury, které vzniknou ze dvou nebo více materiálů zcela odlišných vlastností s výsledným synergickým účinkem.

Plnivo ovlivňuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Plniva mohou zlepšovat mechanické vlastnosti nebo chemickou odolnost či tvarovou stálost při zvýšené teplotě. Jiné slouží například jen ke zlevnění plastu. [3], [7]

Používaná plniva je možné rozdělit do dvou hlavních kategorií na plniva vyztužující a nevyztužující.

2.4.2.1 Nevyztužující plniva

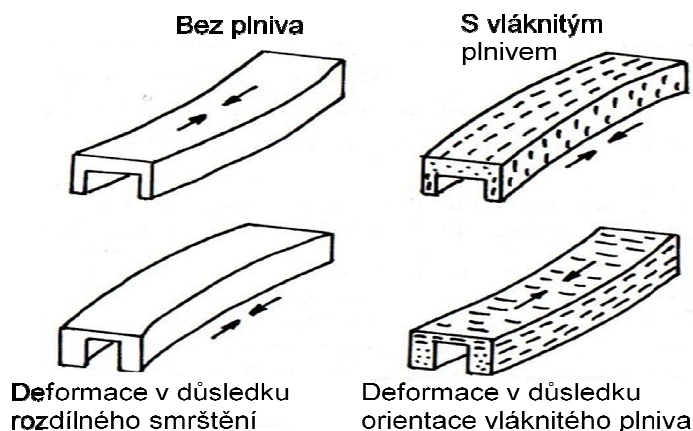
Nevyztužující plniva jsou obvykle ve formě prášku (např. talek, uhličitán vápenatý, kaolín, křídý apod.) Tato plniva se obvykle přidávají z důvodu snížení ceny materiálu, nevyvolávají výraznou anizotropii smrštění a v určitých případech smrštění zmenšují. [3]

2.4.2.2 Vyztužující plniva

Jako vyztužující plniva se používají plniva vláknitá (např. skleněná, aramidová, uhlíková a kevlarová vlákna). V porovnání s nevyztužujícími plnivem výrazně ovlivňují velikost smrštění a jeho anizotropii. Jednotlivá vlákna jsou charakterizována poměrem délky a průměru, kdy od poměru cca 10:1 mají vlákna vyztužující efekt. Vlákna orientovaná ve směru toku taveniny tvoří ve struktuře stěny výstřiku jakési „brzdy“, které brání volnému průběhu tepelné kontrakce a tím v tomto směru smrštění zmenšují. Kolmo na směr orientace vlákna působí podobně, ale s podstatně menším vlivem na zmenšení smrštění. [3]

Vlivem výše popsaného vzniká v různých místech na výrobku značná anizotropie smrštění v závislosti na směru orientace vyztužujících vláken.

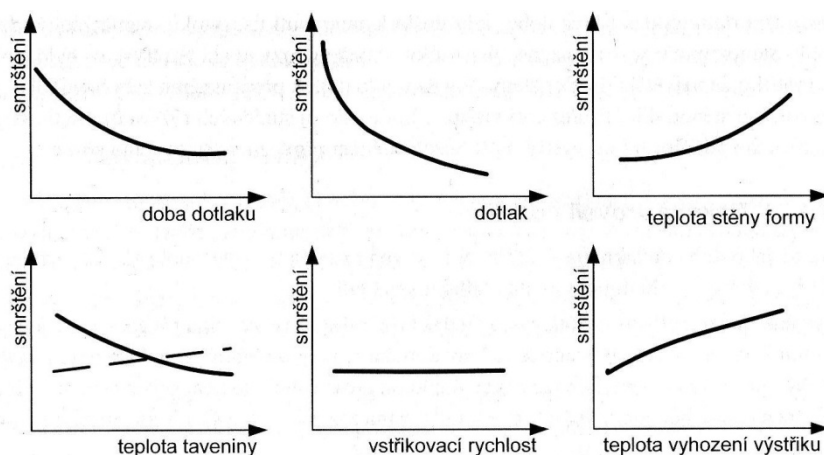
Tyto anizotropie způsobují rozdílné hodnoty pnutí v různých částech výrobku a mohou tak mít za následek vznik vad nebo deformací (viz obr. 1).



Obr. 1: Rozdílné chování plněných a neplněných materiálů [3]

2.5 Parametry procesu vstřikování

Závislost smrštění na vybraných parametrech vstřikování je uvedena na obr. 2.



Obr. 2: Vliv procesních parametrů vstřikování na smrštění výrobku [3]

2.5.1 Teplota taveniny – T_{tav}

Vliv teploty taveniny není jednoznačný, a proto ani předpověď jejího vlivu není jednoduchá. Konkrétní teplota taveniny závisí na druhu plastu a ovlivňuje jeho tekutost, vstřikovací tlak, dobu chlazení a tedy dobu cyklu, smrštění, tlakové ztráty, dotlak atd.

Teplota taveniny z pohledu smrštění působí dvěma protichůdnými efekty

- První efekt – zvyšováním teploty taveniny se zvyšuje její tepelná kontrakce
- Druhý efekt – zvýšením teploty taveniny se sníží její viskozita a tím umožňuje lepší tlakovou odezvu ve výstřiku při dotlaku, což vede ke zmenšení smrštění.

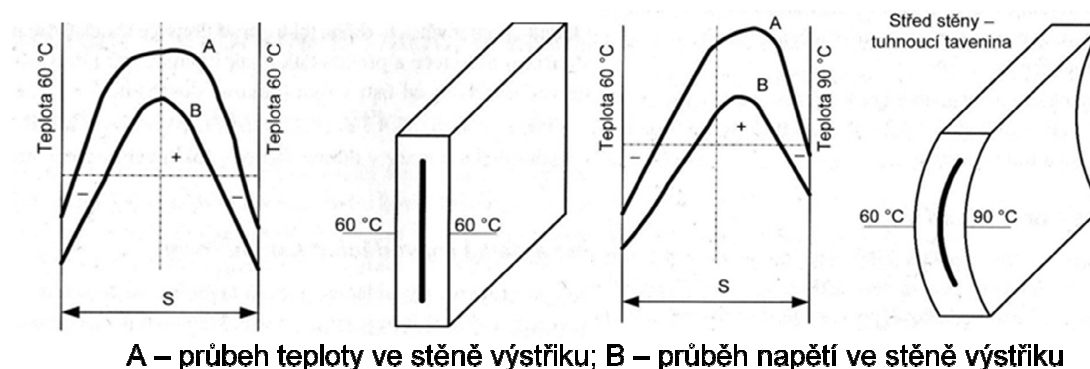
Superpozice obou zmíněných efektů potom v daném okamžiku určuje hodnotu smrštění.

Z praktického hlediska tedy platí, že při optimalizaci procesu vstřikování je účelné pracovat s konstantní teplotou taveniny, aby do optimalizace nebyl vnesen nejednoznačně specifikovaný parametr. [1], [3]

2.5.2 Teplota formy – T_f

Temperací vstřikovacích forem rozumíme ochlazování nebo ohřev tvářecích částí formy pomocí temperačního média na požadovanou teplotu formy před začátkem produkce a udržení této teploty během výroby v požadované toleranci. Teplota vstřikovacích forem souvisí s procesem tuhnutí a chladnutí výstřiku, který začíná již během fáze vstřikování, pokračuje během fáze dotlaku taveniny a trvá až do okamžiku otevření formy a vyhození výstřiku z tvarové dutiny formy. Proces chlazení je nejdelší částí vstřikovacího cyklu a během této doby dochází ke značným místním i časovým změnám stavových veličin polymeru. [8]

Rozdíly v gradientu chlazení stěn výstřiku v jeho různých místech vyvolávají v důsledku rozdílných teplot v těchto místech i rozdílné hodnoty smrštění a tím může docházet k deformaci tvaru výstřiku (obr.3). [3]



Obr. 3: Deformace stěny výstřiku jako výsledek rozdílů teploty na stěnách formy [2]

2.5.3 Fáze dotlaku

Doba působení dotlaku je nejdůležitějším technologickým parametrem kompenzujícím smrštění. Dotlaková fáze má za úkol dopravit do chladnoucího výstřiku takové množství taveniny, která působí proti objemovému smrštění při chlazení výstřiku. Dotlak je definován dobou dotlaku t_d a hodnotou působícího tlaku p_d . Obecně platí, že zvyšováním doby dotlaku se snižuje hodnota smrštění avšak pouze do doby, kdy dojde k zamrznutí ústí vtoku. V tomto okamžiku již nemá žádný vliv.

Hodnota tlaku působícího ve fázi dotlaku má rozhodující vliv na hodnotu smrštění jak u amorfních tak i částečně krystalických termoplastů. Vysoká hodnota působícího dotlaku vyvolá vysokou tlakovou odezvu ve výstřiku při zamrznutí jeho průřezu a tím i snížení výrobního smrštění. To má však za následek vyšší obsah vnitřního pnutí. [3]

2.5.4 Doba chlazení výstřiku ve formě – t_{ch}

Doba chlazení tvoří nejdelší část cyklu a pohybuje se od několika sekund až po několik minut. Závisí na určující tloušťce stěny výstřiku, druhu plastu, teplotě taveniny, teplotě formy a na teplotě výstřiku v okamžiku vyjímání z formy. Z ekonomického hlediska je snaha tuto dobu snížit na minimum účinným chlazením formy, zejména těch míst, v nichž hmota chladne nejpomaleji. Naopak z hlediska technologického by mělo probíhat pomaleji tak, aby odvod tepla z taveniny byl rovnoměrný a zabránilo tak případným rozměrovým změnám vlivem dosmrštění, či vnitřním a povrchovým vadám. Fáze chladnutí ovlivňuje nejenom strukturu, tj. orientaci, krystalizaci a vnitřní pnutí, ale také kvalitu povrchu, zejména lesk. [1], [8]

2.5.5 Doba plnění dutiny formy – t_v

Délka doby plnění dutiny formy taveninou se pohybuje od zlomku sekundy až po několik sekund. Odvíjí se od rychlosti vstřikování, která závisí na technologických podmínkách, zejména teplotě taveniny a vstřikovacím tlaku, dále na objemu výstřiku a jeho geometrickém tvaru, řešení vtokové soustavy, druhu plastu a teplotě formy. Doba plnění by měla být co nekratší, protože vstřikovaná tavenina se ve styku s chlazenou formou ochlazuje a ztrácí tekutost, čímž hrozí nebezpečí výroby nedostříknutého výrobku. [1]

2.6 Vady výstřiků

Pod pojmem „vada výstřiku“ se rozumí změna na výrobku, kterou se liší vzhled, rozměry, tvar a vlastnosti od předem stanovených hodnot. Tyto hodnoty jsou specifikovány nejčastěji výkresem či referenčním vzorkem. Zdroje vad mohou být v použitém druhu plastu, v konstrukci výrobku, vstřikovacím stroji nebo formě a také ve zvolených technologických podmínkách. [9]

V praxi se v hromadné a sériové výrobě vždy vyskytne určitý podíl vadných výrobků. Jedna z příčin vzniku vady spočívá v tom, že u cyklických procesů není možné zaručit v kterékoliv fázi procesu absolutně shodný průběh technologických parametrů, protože se mohou projevit náhodné rušivé vlivy. Proto je nutné určit příčinu dané vady a zjistit způsob jak tuto vadu odstranit. Vady výstřiků lze rozdělit na vady zjevné a skryté. [7]

2.6.1 Vady zjevné

Tyto vady se vyznačují tím, že lze zjistit při vizuálním porovnání s předepsaným a schváleným referenčním vzorkem. Dělí se do dvou skupin na vady tvaru a vady povrchu.

- Mezi vady tvaru patří například nedostříknuté výrobky, propadliny, přetoky, otřepy, vrásnění nebo zvlnění, vrstvení a delaminace, stopy po vyhazovačích, deformace dílu vlivem nevhodných parametrů vstřikování či nesprávné konstrukce formy atd.
- K vadám povrchu patří změna barvy a vznik barevných pruhů, nerovnoměrný lesk, stříbření, opalescence nebo povrchové zakalení, matná místa lesklých povrchů, povrch gramofonové desky, povrch pomerančové kůry, stopy po studeném spoji, špatně vykopírovaný dezén, mikrotrhliny, tokové čáry, stopy po cizím či degradovaném materiálu, stopy po vlhkosti či uzavřeném vzduchu v tavenině a další. [7]

2.6.2 Vady skryté

Tyto vady nelze postihnout běžnou vizuální kontrolou. Ovlivňují však většinou negativně vlastnosti výstřiku, a proto jsou z aplikačního hlediska

nebezpečné. Tyto vady lze zpravidla zjistit teprve pomocí vhodného zkušebního zařízení nebo laboratorními zkouškami.

Skryté vady vznikají například v důsledku nerovnoměrné orientace makromolekul nebo vláken zejména v okolí ústí vtoku (u typů termoplastů vyztužených vláknitými plnivými), vnitřního pnutí, nerovnoměrné krystalizace semikrystalických plastů, degradačních procesů vedoucích ke snížení pevnosti a houževnatosti a vnitřních defektů, jako jsou lunkry, uzavřený vzduch, plynné složky z degradačních procesů aj. [7]

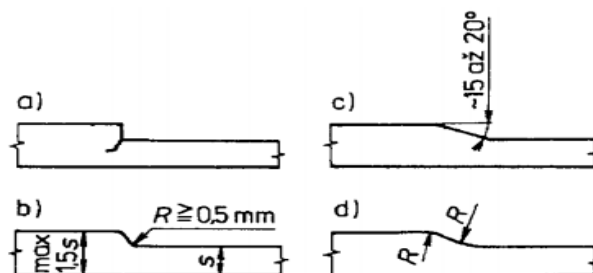
2.7 Vliv některých konstrukčních prvků na deformace tvaru výstřiku

Konstrukce výstřiků musí splňovat mnohé zásady, jako např. funkčnost tvaru, technologičnost, výtvarně estetická řešení, ekonomičnost, atd. Všechny tyto požadavky směřují k základnímu tvarovému pojetí, tj. k oblým tvarům a přechodům, stejnoměrné tloušťce stěny apod. [2]

2.7.1 Tloušťka stěny

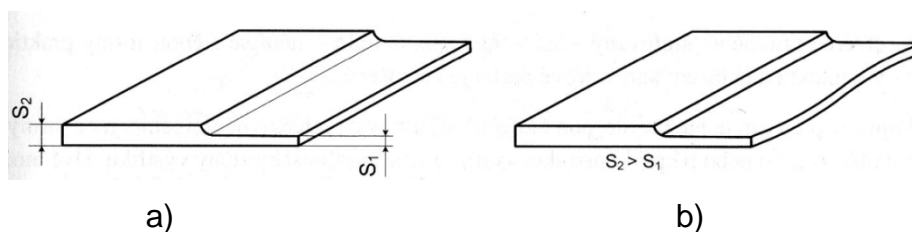
Tloušťka stěny má být pokud možno minimální, aby se omezila možnost vzniku povrchových propadlin a vnitřních staženin (lunkrů), zmenšil se časový rozdíl mezi chladnutím povrchu a jádra stěny, aby se snížila spotřeba materiálu a aby se zkrátila doba chladnutí ve formě. Minimální přípustná tloušťka stěny je určena požadovanou tuhostí, pevností a rozměrností výstřiku. Tloušťka stěny také závisí na délce toku taveniny, druhu plastu a velikosti výrobků (u drobných výrobků je přípustná tenčí stěna nežli u rozměrných).

Rovnoměrnost tloušťky stěny je podmínkou pro stejnou a rovnoměrnou rychlost proudu taveniny ve formě, stejnou rychlost chlazení ve všech místech výstřiku. Tím se zajistí stejné smrštění a minimální vnitřní pnutí. U výstřiků s různou tloušťkou stěny, vzniká vlivem víření taveniny nerovnoměrná orientace makromolekul. Rozdílným smrštěním různě tlustých stěn výstřiků dochází k vnitřnímu pnutí, které může mít za následek deformace (obr. 5), nebo praskání výrobku (obr. 4). Tyto vady mohou nastat ihned po vystříknutí dílu, nebo až po uplynutí nějaké doby. [10]



Obr. 4: Přečody v tloušťce stěny včetně ukázky řešení [10]

a) Špatné – možnost vzniku trhlin, b) Lepší řešení, c) a d) Optimální řešení

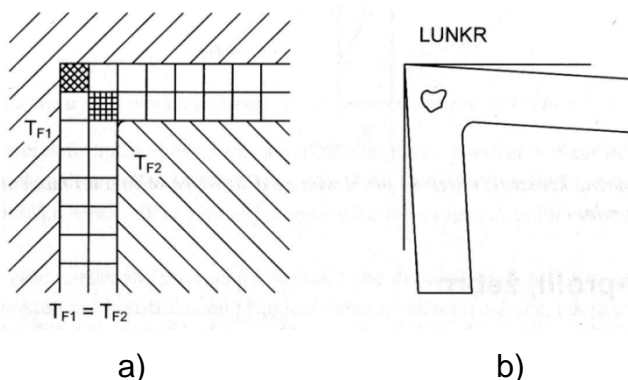


Obr. 5: Vliv změny tloušťky stěny na deformace [3]

a) Požadovaný tvar a rozměry, b) Skutečný tvar a rozměry

2.7.2 Rohy a ostré úhly

Příčinou deformací a vad (např. lunkrů) na vstřikovaných dílech mohou být ostré úhly nebo nezaoblené rohy stěn výrobku. [10]



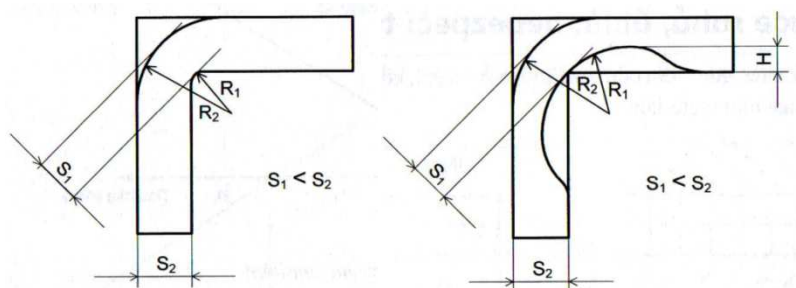
Obr. 6: Deformace úhlu v důsledku nestejného smrštění [3]

a) Požadovaný tvar a rozměry, b) Skutečný tvar a rozměry

I když mají vnitřní a vnější stěny formy stejnou teplotu, dochází k deformaci úhlu (viz obr. 6). Na vině je místní rozdíl v ochlazování taveniny z důvodu rozdílných velikostí kontaktních ploch, přes které je odvod tepla realizován.

- Ve čtvercích bez šrafování dochází k obvyklému – symetrickému způsobu chlazení
- Křížem šrafovaný čtverec (na vnější straně úhlu) má dvoustranný kontakt se stěnou formy a tedy i rychlejší odvod tepla
- Pravoúhle šrafovaný čtverec (na vnitřní straně úhlu) není se stěnou formy prakticky v žádném kontaktu a chlazení této tvarové partie je zmenšené

Popsaný problém je možné alespoň částečně eliminovat zintenzivněním temperace formy ve vnitřní oblasti rohu nebo již při konstrukci výstřiku změnou konstrukčního řešení rohu (viz obr. 7). [3]

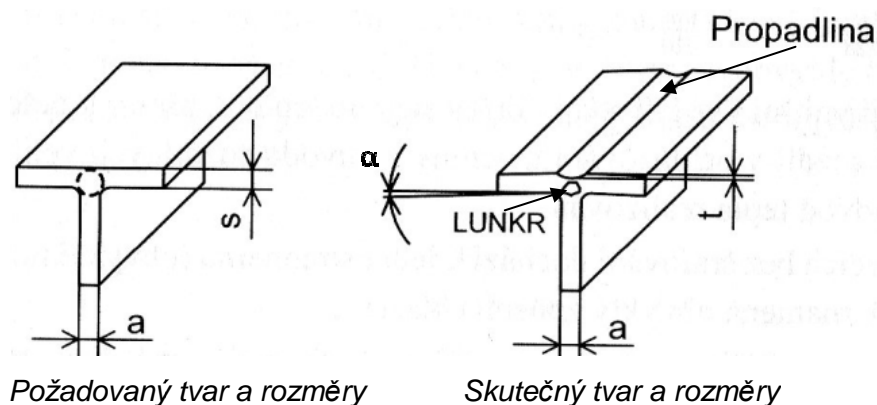


Obr. 7: Možná konstrukční řešení problematiky deformace a hromadění materiálu v rohu [3]

Oblé tvary jsou výhodné z hlediska snazšího proudění taveniny a v dnešní době se většina výrobků z plastů konstruuje jako oblé a nepravidelné tvary bez ostrých hran. Čím větší je rádius zaoblení, tím menší jsou hydraulické odpory proti průtoku materiálu a tím menší je koncentrace napětí v místě ohybu. [2]

2.7.3 T-profil, žebro

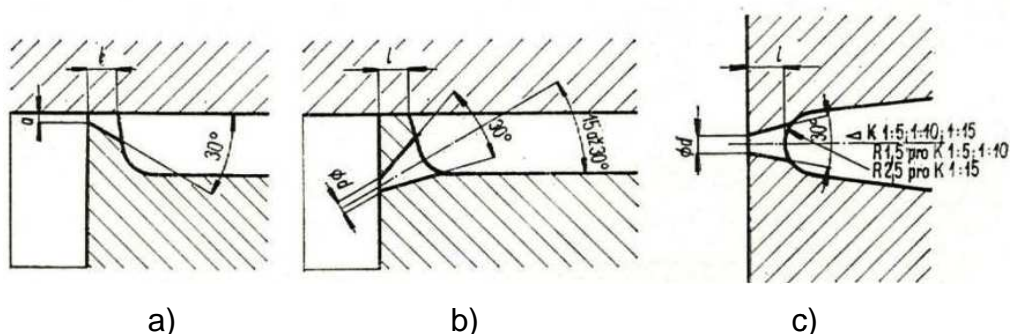
Konstrukce napojení žebra k základní desce může vyvolat tvarovou deformaci, která se projeví jako odchylka úhlů. Zároveň může způsobit vznik lunek a propadlin, které jsou znázorněny na obr. 8. Tyto deformace a vady vznikají v důsledku většího smrštění nahromaděného materiálu v místě napojení žebra na základní desku a nevhodnou temperací formy. Deformace úhlů je možné částečně eliminovat intenzivnější temperací formy v oblasti rohu, nebo změnou geometrie výstřiku. [3]



Obr. 8: Vliv žebra na deformace a vady [3]

2.7.4 Nejčastější druhy studených vtoků

Při vstřikování termoplastů má typ a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, anizotropii vlastností apod. [11]



Obr. 9 : Nejčastější způsoby řešení ústí vtoku na výrobcích [11]

a) Boční štěrbinové ústí, b) Tunelové ústí, c) Přímé bodové ústí

Boční štěrbinový vtok (obr. 9a) nahrazuje třídeskové řešení formy dvoudeskovým tím, že tvarové části i vtoková soustava jsou zaformovány v jedné dělicí rovině. Při odformování zůstává vtokový zbytek zpravidla neoddělený.

Tunelový vtok (obr. 9b) se používá pro dvoudeskové konstrukce forem s automatickým oddělením vtokového systému od výstřiku. Ústí vtoku je vedeno pod řeznou hranou tvárníku. Tento vtok je nevhodný pro polymery vyztužené vláknitým plnivem, pokud ano pak s průměrem ústí vtoku minimálně 2 mm. Další nevýhodou je také náročnější způsob výroby.

Bodový vtok (obr. 9c) je vhodný pro tenkostěnné výrobky a jeho ústí má průměr nejčastěji 1 mm. Koncová část vtoku je směrem k výrobku kuželovitě rozšířena tak, aby se ztuhlý plast v ústí odtrhl a byl vytažen společně s výrobkem. [11]

Vícenásobný vtok se používá v případech, kdy by naplnění dutiny formy bylo velmi obtížné. Při jeho použití se musí věnovat zvýšená pozornost odvzdušnění formy a tvorbě studených spojů při stékání taveniny z jednotlivých vtoků. [12]

2.7.5 Umístění vtoku

Poloha vtoku na vstřikovaném dílu přímo ovlivňuje jeho kvalitu. Proto je nutné při navrhování polohy ústí vtoku dodržovat následující pravidla.

Vtokové ústí je nutné umístit:

- Mimo místa kde působí namáhání nebo možné rázy a mimo opticky činných ploch.
- Do stěny s největší tloušťkou tak aby bylo možné využít dotlaku pro eliminaci vtaženin.
- Do geometrického středu dutiny tak, aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně.
- Ve směru orientace žeber, pokud je výstřik má a ve směru delší strany u obdélníkových tvarů.
- S ohledem na zamezení volného toku taveniny a tím turbulentního proudění při plnění dutiny formy. [12], [13]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část této práce se skládá z analýzy vlivu jednotlivých parametrů vstřikování, druhu a umístění vtoku a vstřikovaných plastů, na změnu velikosti deformace. Tato analýza byla vytvořena za pomoci simulačního programu Cadmould 3D-F (dále jen Cadmould).

3.1 Popis programu Cadmould

Cadmould je CAE Software, který analyzuje proces vstřikování plastů. Pro analýzu je potřebný 3D CAD model plastového dílu ve formátu STL. Na základě toho připraví software zcela automaticky, rychle a přesně 3D výpočtový model, založený na vlastní patentované metodě. Uvedené řešení umožní přesné rozlišení měnících se materiálových veličin (teplot, smykových rychlostí atd.) po tloušťce i těch nejslabších stěn, což je nutným předpokladem pro přesný výpočet komplexních proudových stavů v různých místech konstrukce. Výpočty jsou teplotně závislé, respektující stlačitelnost tavenin a zohledňující strukturně – viskózní chování tavenin plastů. Tento software se vyznačuje jednoduchým uživatelským prostředím a vyžaduje pouze běžný operační systém. [14]

3.2 Použité materiály pro simulace v Cadmould

Pro simulace procesu vstřikování byly vybrány následující tři druhy termoplastů od výrobce LyondellBasell s obchodním označením Hostacom.

Tyto materiály byly vybrány záměrně jako představitelé termoplastů plněných skelnými vlákny, minerálními plnivy a neplněných plastů. Technické údaje byly převzaty z webových stránek LyondellBasell.



Hostacom PPU X9067 (dále jen PPU) je neplněný, vysoce krystalický polypropylen s vysokou tuhostí, houževnatostí a s nízkou viskozitou. Používá se například v interiérech automobilů. [15]

Všechny parametry týkající se vlastností tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce 1 a 2.

Tab. 1: Technické údaje PPU. [15]

<i>Typ polymeru</i>	<i>Směsný polyolefin, kopolymer</i>
<i>Hustota</i>	<i>0.91 g/cm³</i>
<i>Index toku taveniny (ITT)</i>	<i>15 g/10 min (230°C/2.16Kg)</i>
<i>Pevnost v tahu</i>	<i>26 MPa (50 mm/min)</i>
<i>Tažnost</i>	<i>5.0 % (50 mm/min)</i>
<i>Modul pružnosti v ohybu</i>	<i>1450 MPa (23 °C)</i>
<i>Bez vrubová houževnatost</i>	<i>No Break kJ/m² (23 °C)</i>
<i>Vrubová houževnatost 1</i>	<i>5.0 kJ/m² (0 °C)</i>
<i>Vrubová houževnatost 2</i>	<i>9.0 kJ/m² (23 °C)</i>
<i>Tepelná odolnost při zatížení 0,45 Mpa</i>	<i>100 °C</i>
<i>Tepelná odolnost při zatížení 1,80 Mpa</i>	<i>58 °C</i>
<i>Teplota měknutí dle Vicata</i>	<i>147 °C (A50 (50°C/h 10N))</i>
<i>Tvrdost při vtlačování kuličky</i>	<i>60 MPa (H 358/30)</i>

Tab. 2: Procesní teploty dané výrobcem – Hostacom PPU x9067 [16]

<i>Teplota taveniny</i>			<i>Jednotná teplota stěn formy</i>			<i>Teplota tuhnutí</i>	<i>Doporučená teplota pro vyhození z formy</i>
<i>Min.</i>	<i>Optimal.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>	<i>Optimal.</i>	<i>Max.</i>		
200°C	230°C	260°C	20°C	55°C	90°C	150°C	130°C

Hostacom G2 N01 (dále jen G2N01) je plněný polypropylen s obsahem 20% skelných vláken. Vyznačuje se vyšší viskozitou a dobrou tuhostí. Není však určen pro aplikace v lékařském nebo farmaceutickém průmyslu a nesmí být použit pro výrobky přicházející do kontaktu s pitnou vodou. [15]

Všechny parametry týkající se vlastností tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce 3 a 4.

Tab. 3: Technické údaje G2N01 [15]

<i>Typ polymeru</i>	<i>Směsný polyolefin, homopolymer</i>
<i>Hustota</i>	1.05 g/cm ³
<i>Index toku taveniny</i>	7.5 g/10 min (230°C/5.0kg)
<i>Index objemového toku taveniny (ITT)</i>	9 cm ³ /10min (230°C/5.0kg)
<i>Modul pružnosti v tahu</i>	3300 MPa
<i>Tažnost</i>	8 % (50 mm/min)
<i>Modul pružnosti v ohybu</i>	3000 MPa
<i>Napětí v ohybu</i>	42 MPa (3.5 %)
<i>Bez vrubová houževnatost</i>	20 kJ/m ² (-20 °C)
<i>Bez vrubová houževnatost</i>	25 kJ/m ² (0 °C)
<i>Bez vrubová houževnatost</i>	45 kJ/m ² (23 °C)
<i>Vrubová houževnatost</i>	2 kJ/m ² (-30 °C)
<i>Vrubová houževnatost</i>	2.5 kJ/m ² (0 °C)
<i>Vrubová houževnatost</i>	4 kJ/m ² (23 °C)
<i>Tepelná odolnost při zatížení 0,45 Mpa</i>	120 °C
<i>Tepelná odolnost při zatížení 1,80 Mpa</i>	80 °C
<i>Tvrdost při vtlačování kuličky</i>	68 MPa (H 358/30)

Tab. 4: Procesní teploty dané výrobcem – Hostacom G2 N01 [16]

<i>Teplota taveniny</i>			<i>Jednotná teplota stěn formy</i>			<i>Teplota tuhnutí</i>	<i>Doporučená teplota pro vyhození z formy</i>
<i>Min.</i>	<i>Optimal.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>	<i>Optimal.</i>	<i>Max.</i>		
210°C	230°C	250°C	20°C	40°C	60°C	135°C	95°C



Hostacom M2 N01 (dále jen M2N01) je plněný polypropylen s obsahem 20% minerálního plniva (talek). Vyznačuje se vyšší viskozitou a velmi dobrou tuhostí. Není však určen pro aplikace v lékařském nebo farmaceutickém průmyslu a nesmí být použit pro výrobky přicházející do kontaktu s pitnou vodou. [15]

Všechny parametry týkající se vlastností tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce 5 a 6.

Tab. 5: Technické údaje M2N01 [15]

<i>Typ polymeru</i>	<i>Směsný polyolefin, homopolymer</i>
<i>Hustota</i>	<i>1.05 g/cm³</i>
<i>Index toku taveniny (ITT)</i>	<i>9.0 (230°C/5.0kg g/10 min)</i>
<i>Index objemového toku taveniny</i>	<i>10.0 cm³/10min (230°C/5.0kg)</i>
<i>Modul pružnosti v tahu</i>	<i>2700 MPa</i>
<i>Pevnost v tahu</i>	<i>32 MPa (50 mm/min)</i>
<i>Modul pružnosti v ohybu</i>	<i>2850 MPa</i>
<i>Napětí v ohybu</i>	<i>45 MPa (3.5 %)</i>
<i>Bez vrubová houževnatost</i>	<i>20 kJ/m² (-20 °C)</i>
<i>Bez vrubová houževnatost</i>	<i>50 kJ/m² (23 °C)</i>
<i>Vrubová houževnatost</i>	<i>2.0 kJ/m² (-20 °C)</i>
<i>Vrubová houževnatost</i>	<i>4.0 kJ/m² (23 °C)</i>
<i>Tepelná odolnost při zatížení 0,45 Mpa</i>	<i>120 °C</i>
<i>Tepelná odolnost při zatížení 1,80 Mpa</i>	<i>70 °C</i>
<i>Tvrdost při vtlačování kuličky</i>	<i>85 MPa (H 358/30)</i>

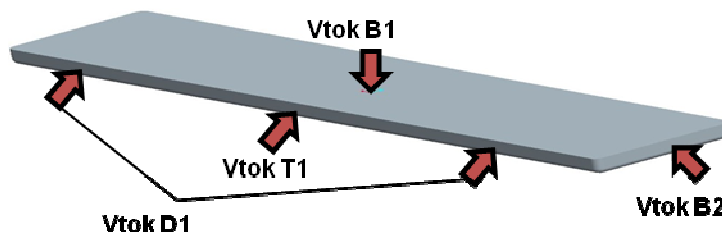
Tab. 6: Procesní teploty dané výrobcem – Hostacom M2 N01 [16]

<i>Teplota taveniny</i>			<i>Jednotná teplota stěn formy</i>			<i>Teplota tuhnutí</i>	<i>Doporučená teplota pro vyhození z formy</i>
<i>Min.</i>	<i>Optimal.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>	<i>Optimal.</i>	<i>Max.</i>		
240°C	250°C	260°C	30°C	40°C	50°C	151°C	115°C

3.3 Díly a jejich polohy vtoků pro simulace vstřikování

Na následujících obrázcích 10 až 13 jsou znázorněny jednotlivé díly použité při simulacích v programu Cadmould a jejich polohy vtoků. Modely těchto dílů byly vytvořeny za pomoci CAD softwaru ProE a Catia.

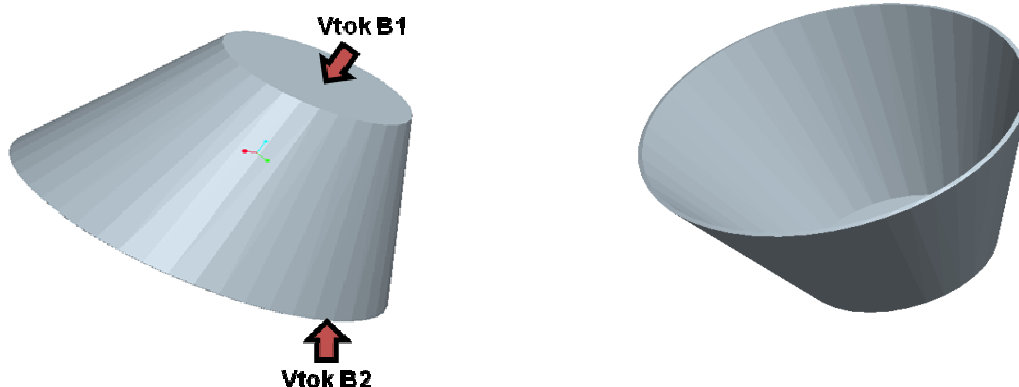
Díl č. 1 : „DESKA“ – tloušťka stěny 3 mm



Obr. 10: Díl č. 1 s polohami vtoků

Vtok BX = bodový vtok; Vtok DX = dvojnásobný vtok; Vtok TX = tunelový vtok

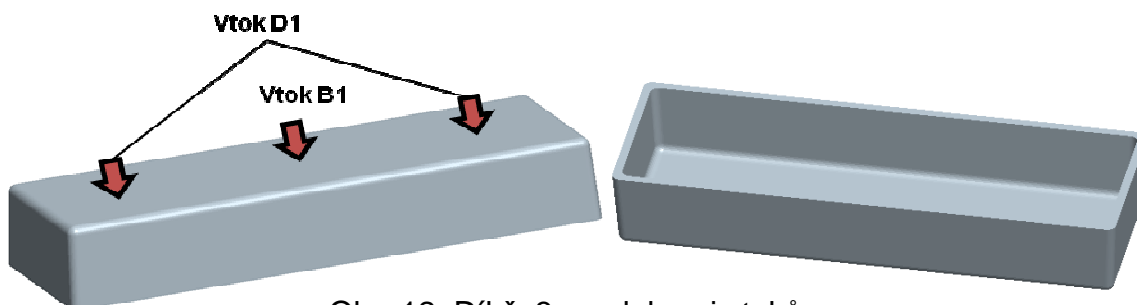
Díl č. 2 : „KELÍMEK“ – tloušťka stěny 2 mm



Obr. 11: Díl č. 2 s polohami vtoků

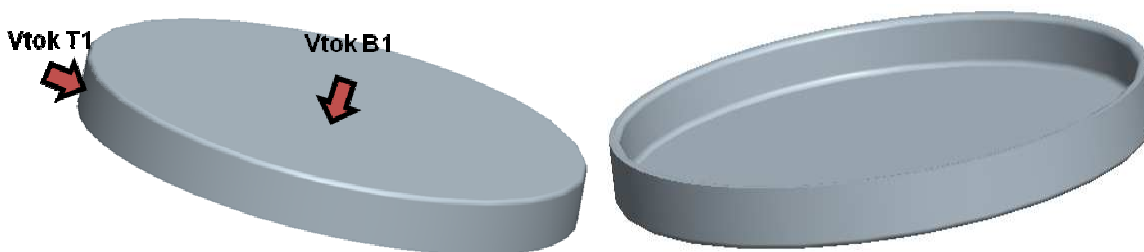
Vtok BX = bodový vtok; Vtok DX = dvojnásobný vtok; Vtok TX = tunelový vtok

Díl č. 3 : „MISKA“ - tloušťka stěny 2 mm



Obr. 12: Díl č. 3 s polohami vtoků

Vtok BX = bodový vtok; Vtok DX = dvojnásobný vtok; Vtok TX = tunelový vtok

Díl č. 4 : „VÍČKO“ - tloušťka stěny 2 mm

Obr. 13: Díl č. 4 s polohami vtoků

Vtok BX = bodový vtok; Vtok DX = dvojnásobný vtok; Vtok TX = tunelový vtok

3.4 Nastavení parametrů procesu vstřikování v programu Cadmould

Jako výchozí nastavení teploty taveniny a jednotné teploty stěn formy jsem použil automatické nastavení parametrů pomocí simulačního softwaru, které vychází z doporučených hodnot určených výrobcem plastu. Hodnotu teploty výstřiku při vyhození z formy jsem ponechal jako volně proměnný údaj, měnící se v závislosti na době ochlazování výstřiku ve formě. Výchozí dobu dotlaku a dobu chlazení jsem volil dle charakteru vstřikovaného dílu. Všechny výchozí hodnoty parametrů pro jednotlivé plasty jsou uvedeny v tabulce 7.

Při změnách hodnot všech procesních parametrů byl měněn vždy pouze jeden parametr tak, aby následná změna velikosti deformace byla důsledkem právě této změny parametru. Tyto úpravy byly prováděny s ohledem na doporučené meze stanovené výrobcem daného plastu.

Dobu plnění dutiny formy jsem ponechal pro všechny simulace hodnotu vypočtenou simulačním programem a velikost dotlaku jsem volil standardně 85% z tlaku plnění dutiny formy.

Změny těchto parametrů jsem volil tak, aby nedocházelo ke vzniku vad vlivem nedostříknutí, vyhození výstřiku před jeho dostatečnou plastikací apod.

Tab. 7: Hodnoty výchozího nastavení parametrů vstřikování pro jednotlivé termoplasty

Materiál Hostacom	Teplota taveniny	Jednotná teplota stěn formy	Doba dotlaku	Doba chlazení ve formě
PPU	230°C	55°C	7 s	20 s
G2N01	230°C	40°C	7 s	20 s
M2N01	260°C	40°C	7 s	20 s

3.5 Měření deformací v simulačním programu

Při porovnávání velikostí deformací jsem vycházel z jejich maximálních hodnot, které simulační program vyhodnotil. Tyto hodnoty jsou obvykle měřeny od těžiště vstřikovaného dílu. Díky tomu by však mohlo docházet ke zkreslení velikosti deformace, a proto byl pro každý díl vytvořen náhradní pevný bod, od kterého program deformace vyhodnocoval. Tuto změnu Cadmould umožňuje pomocí funkce „3 – Click Transformation“.

Zjištěné hodnoty deformací jsem následně společně s parametry vstřikování zapisoval do tabulek, které jsou jako příloha součástí této práce.

3.6 Zpracování výsledků analýzy vstřikování

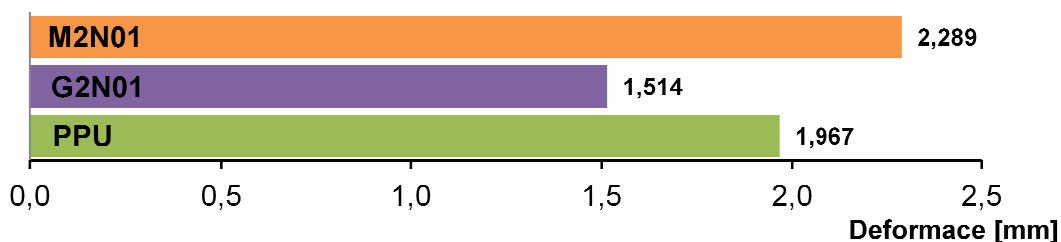
Z důvodu vysokého počtu naměřených hodnot deformací jsem zvolil grafické znázornění sloupcovými grafy, na kterém jsou velmi dobře zřetelné trendy deformací v závislosti na jednotlivých parametrech vstřikovacího procesu, použitých materiálech a charakteru vtoku. K znázornění tvaru deformace jsou použity snímky obrazovky z prostředí simulačního programu Cadmould, na kterých jsou deformace pro názornost několikrát zvětšeny pro lepší rozpoznání jejího tvaru. Na těchto snímcích je velikost deformace zobrazena pomocí barevného spektra, kde modrá barva značí minimální a červená maximální velikost deformací (viz obr. 14).



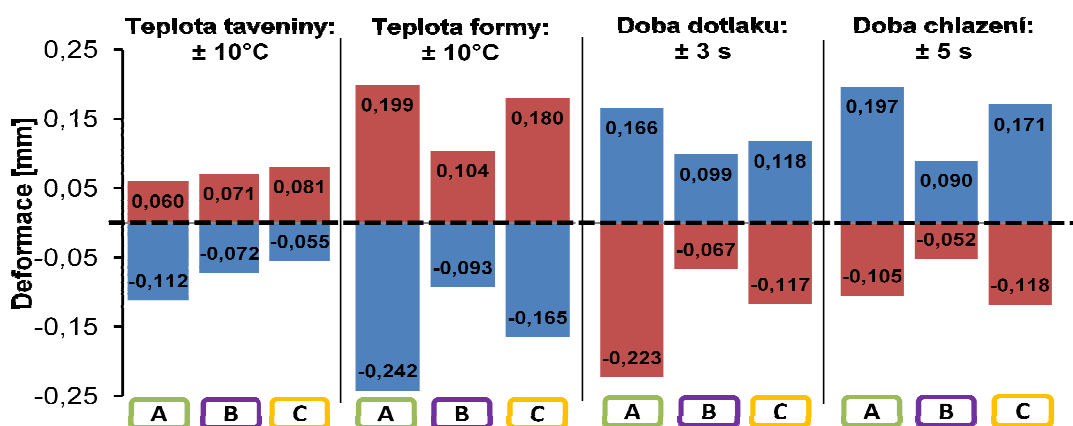
Obr. 14: Barevné spektrum velikosti deformací

3.6.1 Výsledky simulací vstřikovaného dílu č. 1: „DESKA“

Graf 1.1: Vliv druhu materiálu na maximální hodnotu deformace při výchozím nastavení procesních parametrů



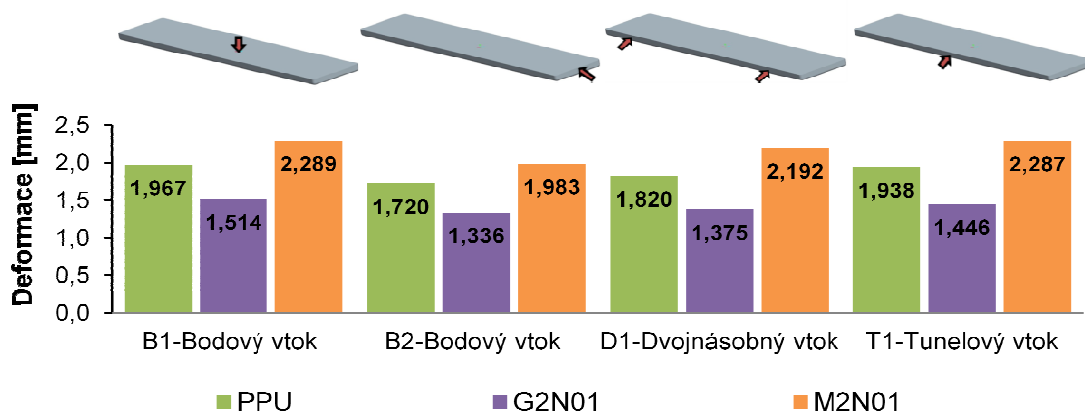
Graf 1.2: Vliv změn hodnot procesních parametrů na velikost odchylky od výchozí hodnoty deformace

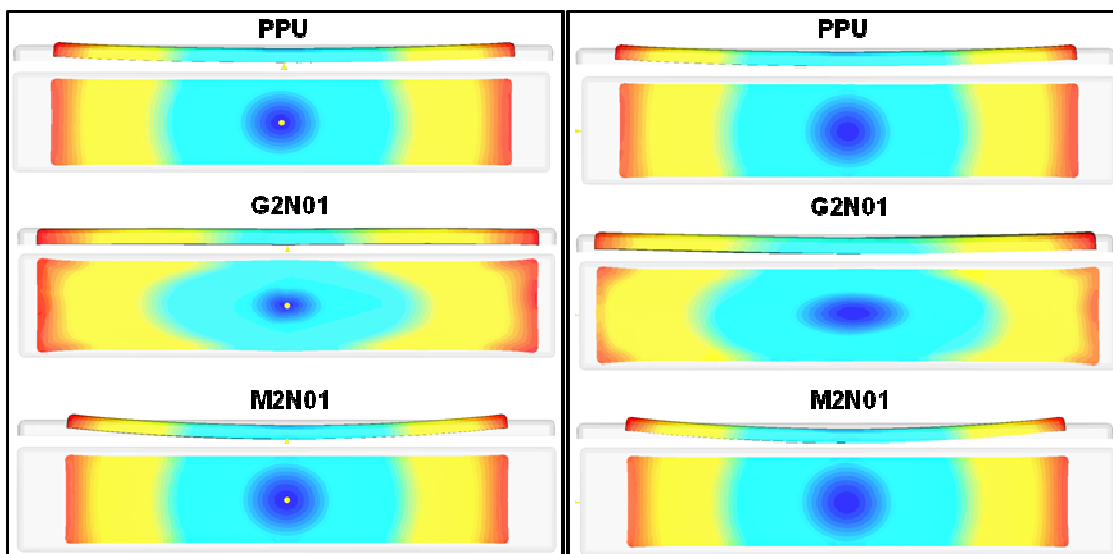


Legenda:

- | | |
|--|--|
| A Hostacom PPU x9067 | ■ Nárůst parametru od výchozí hodnoty |
| B Hostacom G2 N01 | ■ Pokles parametru od výchozí hodnoty |
| C Hostacom M2 N01 | --- Deformace při výchozím nastavení procesních parametrů |

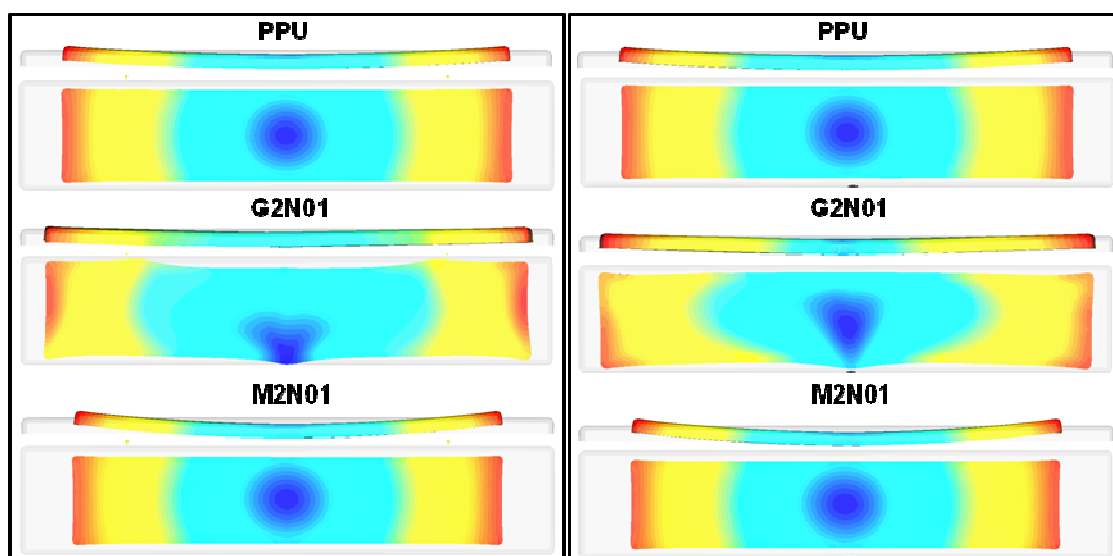
Graf 1.3: Vliv polohy a druhu vtoku na maximální hodnotu deformace





Obr. 15: Tvar deformací - vtok B1

Obr. 16: Tvar deformací - vtok B2



Obr. 17: Tvar deformací - vtok D1

Obr. 18: Tvar deformací - vtok T1

a) Vliv druhu materiálu:

Tvar deformace termoplastů PPU a M2N01 je pro všechny polohy vtoků velmi podobný (viz obr. 15 až 18). Vliv druhu materiálu na velikost této deformace je dobře znatelný z grafu 1.1. Pro oba termoplasty je charakteristické zakřivení desky do tvaru "U", které je dobře viditelné při pohledu z boku.

Termoplast G2N01 plněný skelnými vlákny v podélném směru toto zakřivení téměř nezpůsobuje a dosahoval také menších maximálních hodnot deformací (viz graf 1.1). Nastává u něj však oproti termoplastům PPU a M2N01 výraznější deformace v příčném směru, jejíž tvar je navíc závislý na poloze vtoku. To je důkazem vlivu orientace vláken na anizotropii smrštění, resp. rozdíly mezi velikostí smrštění ve směru orientace a ve směru kolmém na orientace vláken.

b) Vliv procesních parametrů:

Z grafu 1.2 vyplývá, že nejmenší vliv na změnu velikosti deformace má při porovnání s ostatními parametry změna teploty taveniny. Ostatní procesní parametry pak ovlivňovaly velikost deformací výrazněji.

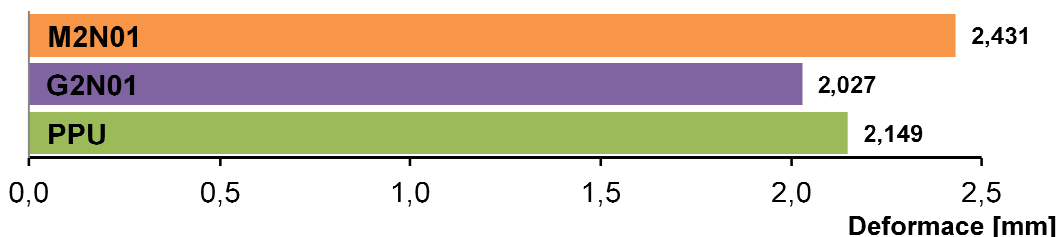
c) Vliv polohy a druhu vtoku:

Jako nejvhodnější řešení vtoku se jeví B2-bodový vtok, který dosahuje nejnižších hodnot deformací pro všechny druhy plastů (viz graf 1.3). To je dáno příznivou orientací makromolekul či vláknitého plniva.

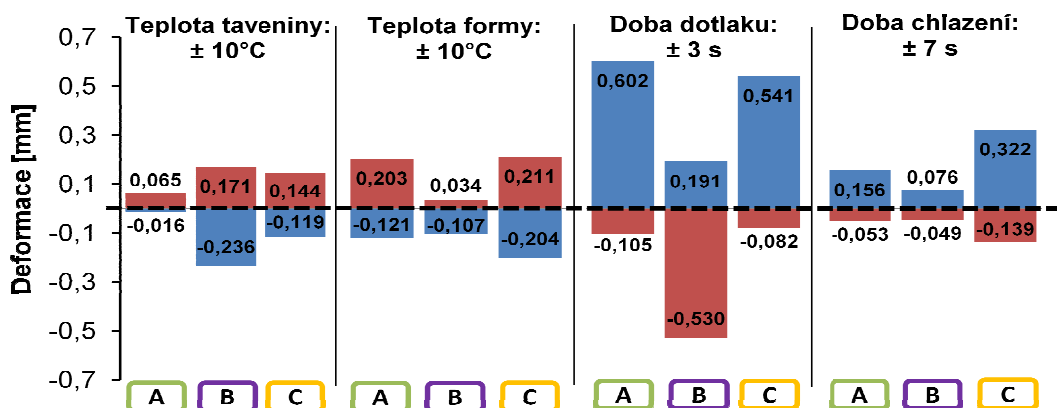
Z analýzy vstřikování dále plyne, že pro tento díl jsou nevhodné vtoky T1 a D1, u kterých dochází kromě zakřivení desky v podélném směru, také k zakřivení desky ve směru příčném (viz obr. 17 a 18)

3.6.2 Výsledky simulací vstřikovaného dílu č. 2: „KELÍMEK“

Graf 2.1: Vliv druhu materiálu na maximální hodnotu deformace při výchozím nastavení procesních parametrů



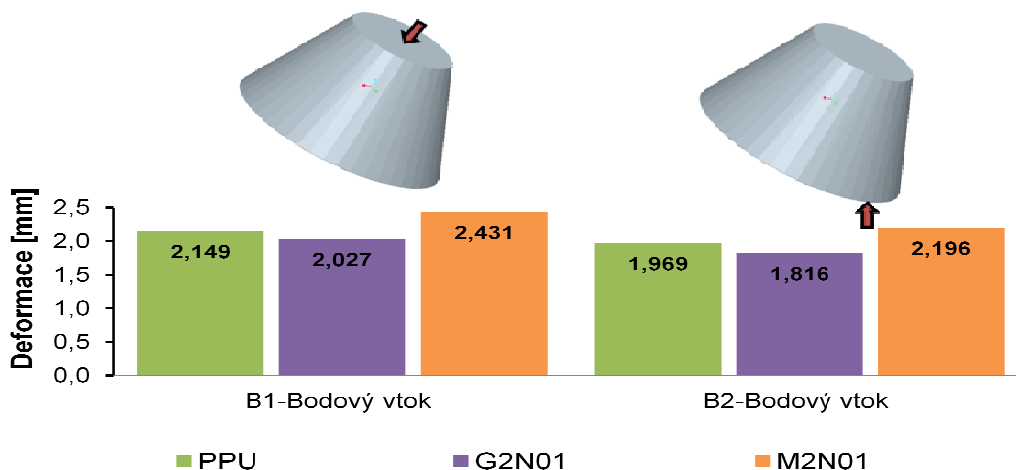
Graf 2.2: Vliv změn hodnot procesních parametrů na velikost odchylky od výchozí deformace

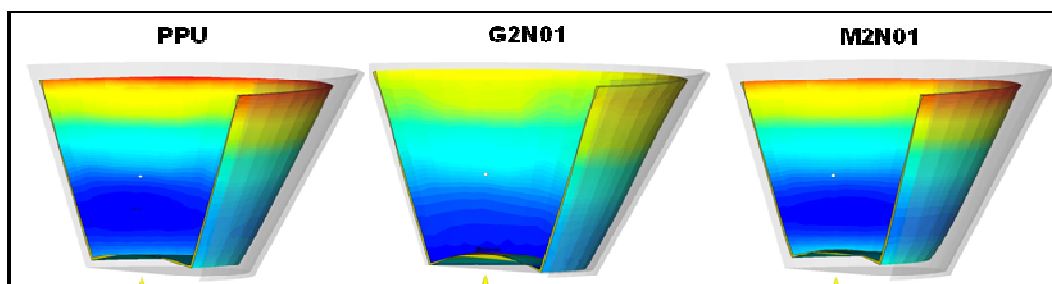


Legenda:

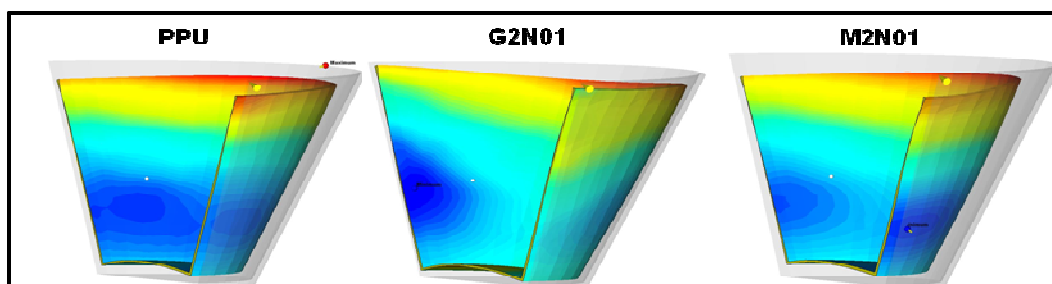
- | | |
|--|--|
| A Hostacom PPU x9067 | Nárůst parametru od výchozí hodnoty |
| B Hostacom G2 N01 | Pokles parametru od výchozí hodnoty |
| C Hostacom M2 N01 | Deformace při výchozím nastavení procesních parametrů |

Graf 2.3: Vliv polohy a druhu vtoku na maximální hodnotu deformace





Obr. 19: Tvar deformací - vtok B1



Obr. 20: Tvar deformací - vtok B2

a) Vliv druhu materiálu:

Při analýze vstřikování termoplastů M2N01 a PPU vykazuje kelímek velmi podobný tvar deformací, lišící se v podstatě jen její velikostí. Tyto materiály vykazují velké smrštění a deformaci dna kelímku, která je dobře viditelná v řezu na obr. 19 a 20. Dno kelímku se deformuje v důsledku výrazně vyššího objemového smrštění, které narůstá od okrajů dna směrem k ose vtoku. Tato anizotropie smrštění je navíc v kombinaci vtoku B1 a plastu G2N01 (obr. 19) umocněna orientací vláknitého plniva, díky kterému v těchto místech dochází k nejvýraznější deformaci v porovnání s termoplasty PPU a G2N01.

b) Vliv procesních parametrů:

Při porovnání vlivu jednotlivých parametrů na velikost deformace (viz graf 2.2) má nejvýraznější vliv doba dotlaku. Při jejím poklesu se velikost deformace výrazně zvyšuje pro termoplasty PPU a M2N01. Snížením doby dotlaku se zvýší hodnota smrštění a tím se více projeví jeho anizotropie.

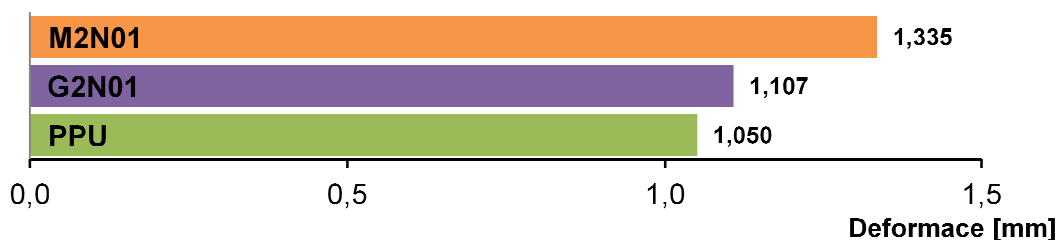
Navzdory očekávání zvýšením doby dotlaku nedošlo k výraznému snížení velikosti deformací. Přesně opačný jev pak nastal u termoplastu G2N01.

c) Vliv polohy a druhu vtoku

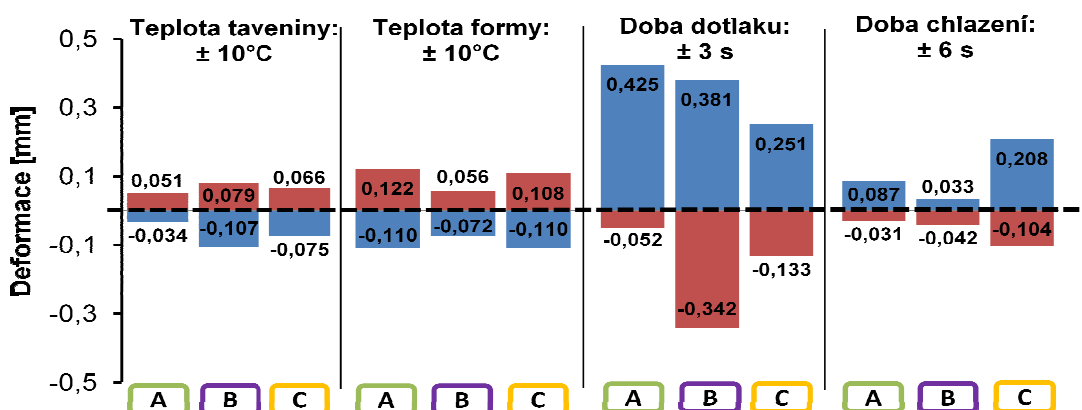
Nejmenší velikosti deformace vykazuje bodový vtok B2 (graf 2.3), hrozí zde však nebezpečí vzniku studených spojů při stékání taveniny a "zkroucení" tvaru kelímku vlivem orientace vláknitého plniva (viz obr. 20).

3.6.3 Výsledky simulací vstřikovaného dílu č. 3: „MISKA“

Graf 3.1: Vliv druhu materiálu na maximální hodnotu deformace při výchozím nastavení procesních parametrů



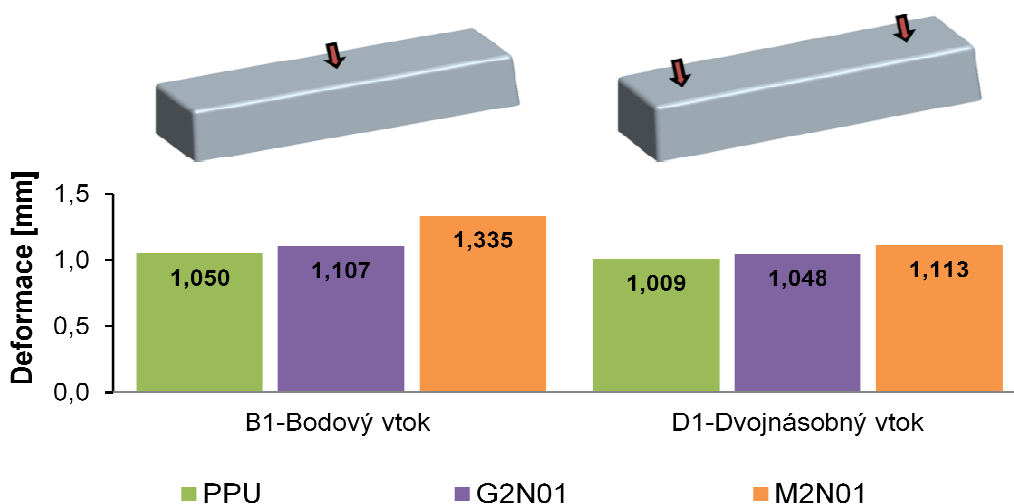
Graf 3.2: Vliv změn hodnot procesních parametrů na velikost odchylky od výchozí hodnoty deformace

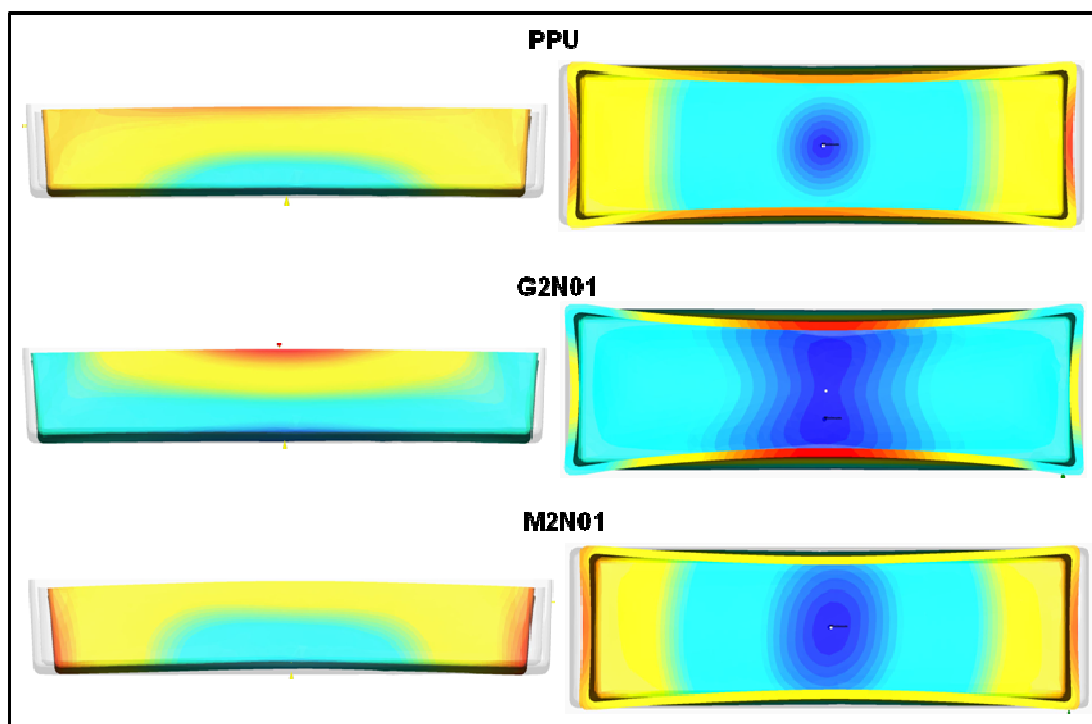


Legenda:

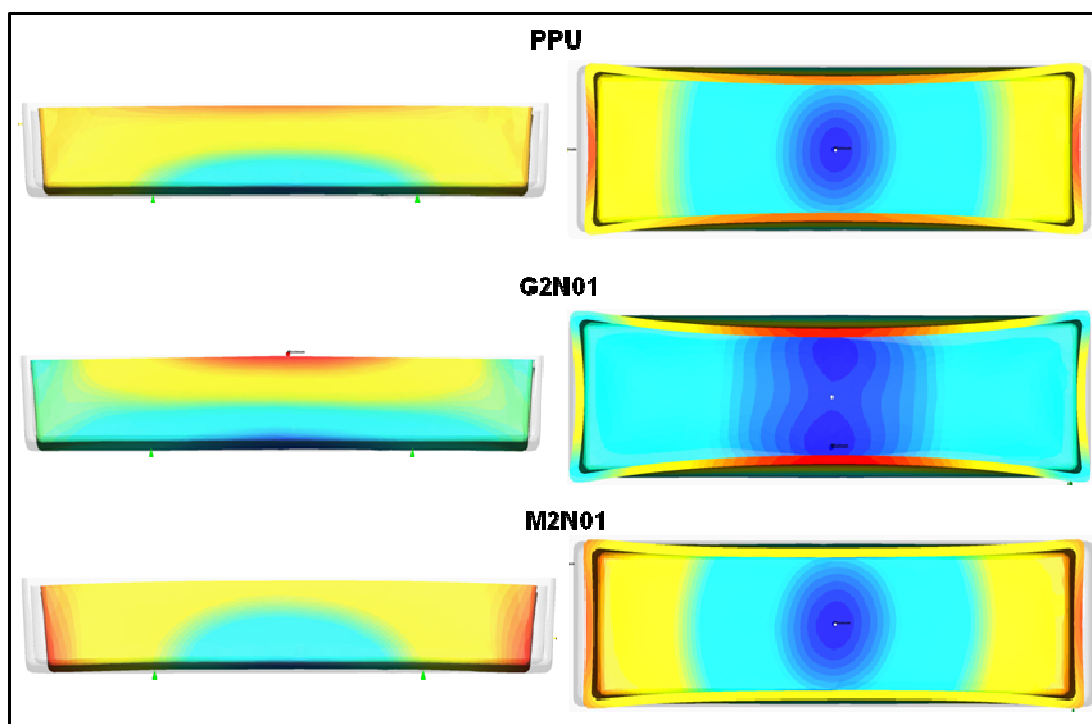
- | | |
|--|--|
| A Hostacom PPU x9067 | ■ Nárůst parametru od výchozí hodnoty |
| B Hostacom G2 N01 | ■ Pokles parametru od výchozí hodnoty |
| C Hostacom M2 N01 | --- Deformace při výchozím nastavení procesních parametrů |

Graf 3.3: Vliv polohy a druhu vtoku na maximální hodnotu deformace





Obr. 21: Tvar deformací - vtok B1



Obr. 22: Tvar deformací - vtok D1

a) Vliv druhu materiálu:

Při porovnání obr. 21 a 22 jsou rozdíly tvaru deformací pro termoplasty G2N01, M2N01 a PPU značné.

Dle grafu 3.1 má polymer M2N01 nejvyšší hodnotu maximální deformace. Naopak při porovnání tvaru deformace pro M2N01 s deformací pro polymery G2N01 a PPU při pohledu z vrchu na obr. 21 a 22 vykazuje M2N01 nejmenší deformaci stěn misky pro vtoky B1 i D2.

Nejvýraznější deformaci stěn misky způsobuje polymer G2N01, která je způsobena vysokým vnitřním pnutím v důsledku rozdílné orientace vláknitého plniva.

Tuto deformaci také vykazují polymery G2N01 a PPU, které jsou zřejmě způsobeny deformacemi úhlů rohů, které jsou zapříčiněny nestejným odvodem tepla z taveniny během ochlazování. Tato problematika je podrobněji popsána v kapitole 2.7.2.

b) Vliv procesních parametrů:

Tak jako u předchozích dílů má nejvýraznější vliv na velikost deformací doba dotlaku (viz graf 3.2). Pokles této doby má za následek výrazný nárůst velikosti deformace pro všechny druhy polymerů. Naopak zvýšení doby dotlaku se nejvíce projeví na polymeru s vláknitým plnivem G2N01 a to tím, že prodloužením t_d se zajistí dostatečný přísun taveniny během tuhnutí a tím kompenzace smrštění.

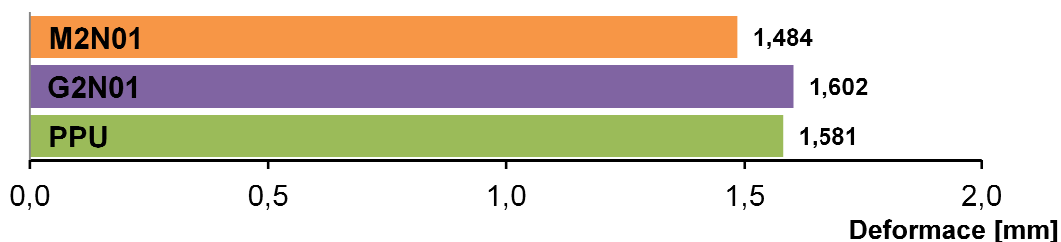
c) Vliv polohy a druhu vtoku

Použití dvojnásobného vtoku D1 se příznivě projeví zmenšením zakřivení misky pro polymer M2N01, které je dobře viditelné na obr 22 při pohledu z boku.

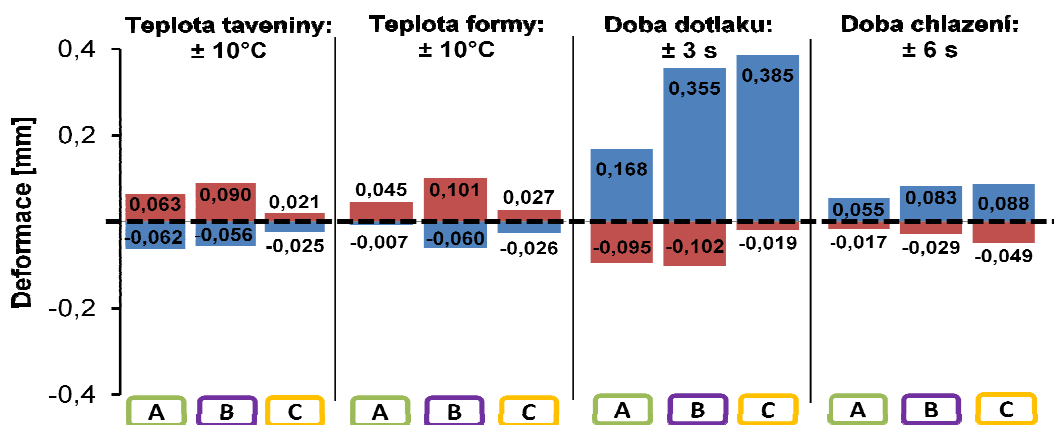
Příznivý vliv dvojnásobného vtoku D1 také dokazuje graf 3.3, kde došlo v porovnání s bodovým vtokem B1 ke zmenšení maximálních hodnot deformací.

3.6.4 Výsledky simulací vstřikovaného dílu č. 4 : „VÍČKO“

Graf 4.1: Vliv druhu materiálu na maximální hodnotu deformace při výchozím nastavení procesních parametrů



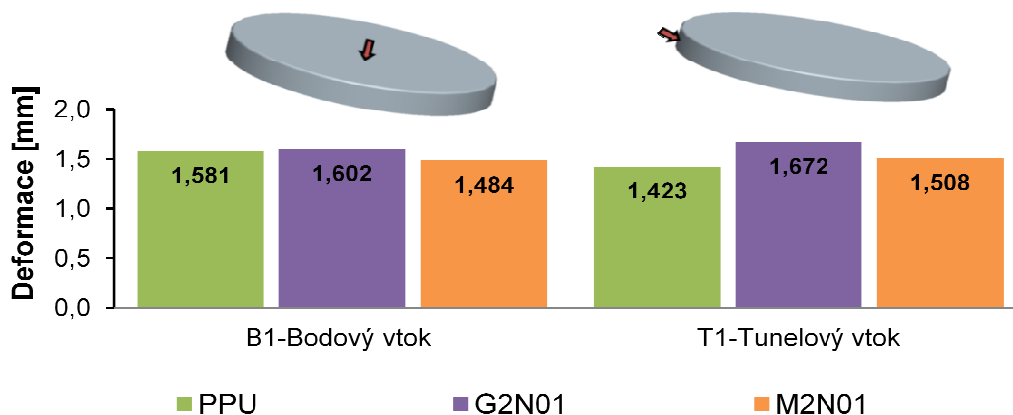
Graf 4.2: Vliv změn hodnot procesních parametrů na velikost odchylky od výchozí hodnoty deformace

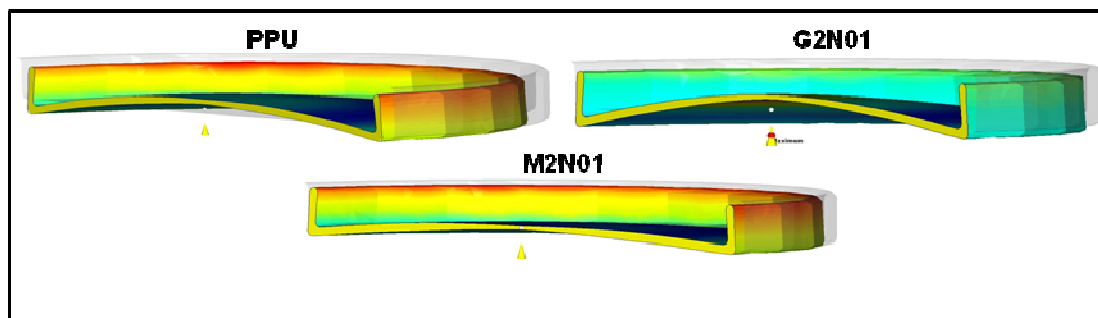


Legenda :

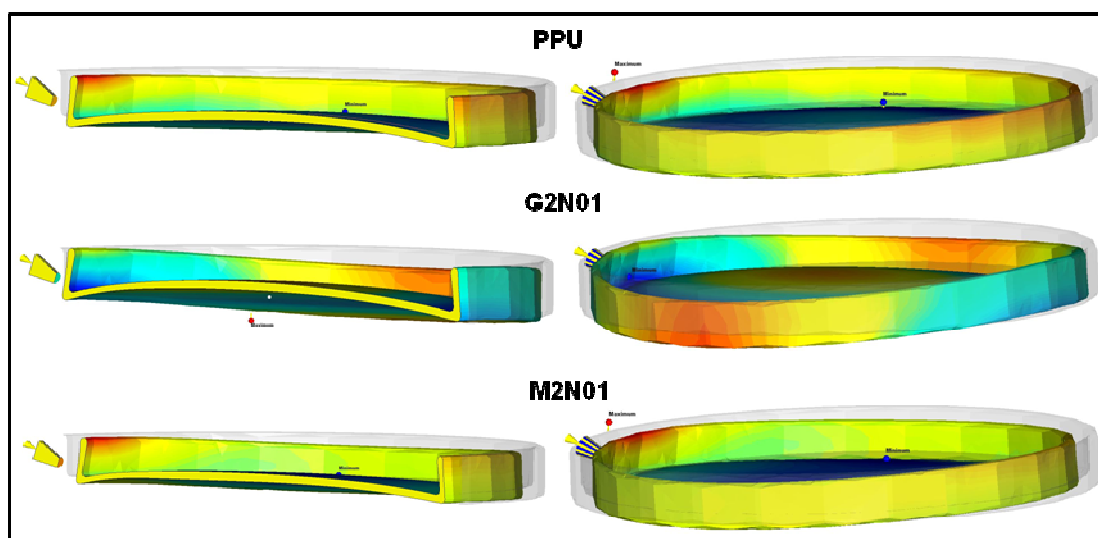
- | | |
|--|--|
| A Hostacom PPU x9067 | ■ Nárůst parametru od výchozí hodnoty |
| B Hostacom G2 N01 | ■ Pokles parametru od výchozí hodnoty |
| C Hostacom M2 N01 | --- Deformace při výchozím nastavení procesních parametrů |

Graf 4.3: Vliv polohy a druhu vtoku na maximální hodnotu deformace





Obr. 23: Tvar deformací - vtok B1



Obr. 24: Tvar deformací - vtok T1

a) Vliv druhu materiálu:

Tvar deformací se měnil v závislosti nejen na druhu termopalstu, ale i na poloze a druhu vtoku.

Pro všechny druhy plastů však bylo charakteristické vypouklé dno víčka (viz obr. 23 a 24). Tato deformace se nejvýrazněji projevila pro polohu vtoku B1 a materiál G2N01 (viz obr. 23). Deformace je jistě způsobena orientací vláknitého plniva a tím vznikající anizotropií tangenciálního a radiálního smrštění. Pro polymery PPU a M2N01 je velikost této deformace menší, což dokazuje také graf 4.1.

b) Vliv procesních parametrů:

Z grafu 4.2 vyplývá, že z procesních parametrů má nejvýraznější vliv na velikost deformace doba dotlaku. Při jejím poklesu o tři sekundy byl

zaznamenán výrazný nárůst hodnot deformací a nejvíce se tato změna projevila při vstřikování termoplasty M2N01 a G2N01. Naopak zvýšením doby dotlaku o stejnou hodnotu nedošlo k výraznějšímu zmenšení velikosti deformací pro žádný z plastů, a to zřejmě vlivem úplného nebo částečného zamrznutí (zatuhnutí) vtoku.

c) Vliv polohy a druhu vtoku







Při porovnání obr. 23 a obr. 24 je zjevný vliv vtoku T1 na tvar deformace. Tento vtok způsobuje "zkroucení" kruhového tvaru víčka pro všechny druhy plastů, nejvýrazněji však pro G2N01, kde je deformace umocněna působením anizotropie smrštění vlivem orientace vláknitého plniva.

I když dle grafu 4.3 vykazuje vtok T1 pro materiál PPU nižší hodnotu deformace, tak z hlediska tvarové deformace dílu je pro všechny materiály vhodnější vtok B1.

3.7 Obecné zhodnocení vlivu změn procesních parametrů na velikost deformace

Z rozboru výsledků simulací byla zjištěna přímá závislost mezi procesními parametry na nárůst či pokles hodnoty deformace, která je znázorněna v tab. 8. Uvedené závislosti vykazoval každý ze vstřikovaných dílů.

Tab. 8: Změna deformace v závislosti na změně procesního parametru vstřikování

	Změna parametru	Změna deformace
Teplota taveniny		
		
Teplota formy		
		
Doba dotlaku		
		
Doba chlazení		
		



Nárůst deformace
(nežádoucí)



Pokles deformace
(žádoucí)

4. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo stanovení vlivu změn procesních parametrů vstřikování, druhu plastu a charakteru vtoku na deformace pro různé konstrukce dílů. Výsledky pro vyhodnocení byly získány analýzou procesu vstřikování s využitím simulačního softwaru Cadmould 3D-F.

Přínosem této práce je stanovení obecného vlivu změn jednotlivých procesních parametrů na velikost deformace, jak dokazuje tabulka 8. Tyto experimentálně získané informace tak mohou být užitečné při optimalizaci parametrů vstřikovacího procesu za účelem snížení velikosti deformací.

Dále z experimentálně zjištěných výsledků vyplývá, že vliv druhu vstřikovaného plastu na velikost a tvar deformací je velmi individuální. Liší se dle konstrukce dílu i polohy vtoku a není tak možné obecně stanovit vliv druhu plastu na zvýšení či snížení velikosti nebo změnu tvaru deformace.

Při hodnocení vlivu změn procesních parametrů na velikost deformací se vždy výrazně projevila doba dotlaku. Z pravidla zvýšením této doby bylo dosaženo snížení velikosti deformací a naopak. Odchyly od velikosti deformací při výchozím nastavení parametrů se pro jednotlivé díly dále různě lišily v závislosti na použitém plastu. Porovnání naměřených maximálních velikostí deformací prokázalo, že změna parametru o určitou hodnotu není ve většině případů přímo úměrná změně velikosti deformace (např.: Změna teploty taveniny o $+10^{\circ}\text{C}$ vyvolá odlišnou odchylku deformace, než změna teploty taveniny o -10°C .).

Stejně jako druhu vstřikovaného plastu tak i typu a poloze vtoku není možné objektivně přisoudit vliv na velikost či tvar deformací, protože vtok je přímo závislý na tvaru vstřikovaného dílu, použitém plastu, technologických parametrech vstřikování atd. Pro předcházení vzniku nežádoucích deformací je tak velmi důležité dodržovat zásady navrhování vtoku uvedené v kapitole 2.7.5.

SEZNAM LITERATURY

- [1] LENFELD, P.: *Technologie II: 2.část - Zpracování plastů* [online].
Liberec: TU v Liberci - FS, Katedra strojírenské technologie. 2009.
[cit. 2012-12-19]. Dostupné na WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [2] KOLOUCH, J.: *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*.
1. vydání. Praha. SNTL – Nakladatelství technické literatury. 1986.
232 s.
- [3] ZEMAN, L.: *Vstřikování plastů*. 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2009. 248s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [4] *Vady výstřiků 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2010. [cit. 2013-01-12]. Dostupné na WWW:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html>
- [5] BĚHÁLEK, L.: *Teorie zpracování nekovových materiálů – výukový materiál*. [online]. TU v Liberci - FS, Katedra strojírenské technologie. 2010. [cit. 2013-03-14]. Dostupné na WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c2/Jevy.pdf
- [6] BĚHÁLEK, L.: *Teorie zpracování nekovových materiálů - Cvičení č. 06: Průvodní a následné jevy při zpracování plastů*. [online].
TU v Liberci - FS, Katedra strojírenské technologie. 2010.
[cit. 2013-03-14]. Dostupné na WWW :
http://www.techno-mat.cz/data/katedry/ksp/KSP_TZN_CV_06_CZE_Behalek_Pruvodni_a_nasledne_jevy_pri_zpracovani_plastu.pdf
- [7] *Základy zpracování polymerů: Průvodní jevy při vstřikování termoplastů, Úvod do problematiky zpracování polymerů - studijní podklady* [online]. TU v Liberci - FS, Katedra materiálu.
[cit. 2013-02-03]. Dostupné na WWW:
http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NEM.htm



- [8] BĚHÁLEK, L., LENFELD, P., AUSPERGER, A., aj.: *Temperace vstřikovacích forem s ohledem na vlastnosti a morfologii výstřiků* [online]. TU v Liberci - FS, Katedra strojírenské technologie. 2005. [cit. 2013-02-03]. Dostupné na WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/lidi/behalek/Strojirenskatechnologie05.pdf>
- [9] *Vady výstřiků 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2010. [cit. 2013-02-08]. Dostupné na WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>
- [10] AUSPERGER, A.: *Metody tváření kovů a plastů - Přednáška č. 03: Zásady při navrhování vstřikovaných výrobků z plastů z technologického hlediska, moderní způsoby simulace technologií v CAD/CAM systémech* [online]. TU v Liberci – FS, Katedra strojírenské technologie. [cit. 2013_02_25]. Dostupné na WWW: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/ksp/KSP_MTK_PR_03_CZE_Ausperger_Navrhovani_vstrikovanych_vyrobku.pdf
- [11] *Vstřikovací formy – 1. vtoková soustava* [online]. TU v Liberci - FS, Katedra strojírenské technologie. [cit. 2013-02-24]. Dostupné na WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf
- [12] *Vstřikovací formy - Zásady konstruování forem* [online]. VUT v Brně - FME, Ústav strojírenské technologie. [cit. 2013-04-24]. Dostupné na WWW: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf



- [13] VÁCLVEK, J.: Výroba součásti „KRYTKA“ [online]. 66s. Diplomová práce. VUT v Brně. 2012 [cit. 2013-04-19]. Dostupné na WWW: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/4484/2012_DP_Vaclavek_Jiri_107657.pdf?sequence=2
- [14] PLASTY GABRIEL s.r.o.: *Software pro analýzy a simulaci vstřikování plastů* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné na WWW: <http://cadmould.cz/software/cadmould-3d-f/>
- [15] LyondellBasell Polymers: *Product and Technical Information* [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné na WWW: <https://polymers.lyondellbasell.com/portal/site/basell>
- [16] SIMCOM. *Cadmould 3D-F v5.0: Cadmould Material Database. v3.3.0.15* [počítačový program na disku]. TU v Liberci - FS, Katedra strojírenské technologie. [cit. 2013-03-27]. Dostupné na PC v počítačové učebně E-SM1 katedry strojírenské technologie.



SEZNAM PŘÍLOH

1. **Tabulky výsledků analýzy vstřikování dílu č. 1: DESKA**
2. **Tabulky výsledků analýzy vstřikování dílu č. 2: KELÍMEK**
3. **Tabulky výsledků analýzy vstřikování dílu č. 3: MISKA**
4. **Tabulky výsledků analýzy vstřikování dílu č. 4: VÍČKO**



Příloha č. 1

Materiál	Vstřik. Čas [s]	Teplota taveniny [°C]	Jednotná teplota stěn formy [°C]	Dotlak [s]	Ochlazování ve formě [s]	Teplota při vyhození z formy [°C]	Max deformace tvaru [mm]	Rozdíl proti výchozímu parametru	Průměrné smrštění
Hostacom PPU x9067	0,242	230	55	7	20	102,7	1,967		1,7%
	0,242	220	55	7	20	99,8	1,855	-0,112	1,6%
	0,242	240	55	7	20	105,6	2,027	0,060	1,7%
	0,242	230	45	7	20	95,3	1,725	-0,242	1,5%
	0,242	230	65	7	20	110,1	2,166	0,199	1,9%
	0,242	230	55	4	20	92,3	2,133	0,166	1,8%
	0,242	230	55	10	20	115,7	1,744	-0,223	1,5%
	0,242	230	55	7	15	130,4	2,164	0,197	1,9%
	0,242	230	55	7	25	85,8	1,862	-0,105	1,5%
Hostacom G2 N01	0,242	230	40	7	20	116,7	1,514		1,0%
	0,242	220	40	7	20	112,5	1,442	-0,072	1,0%
	0,242	240	40	7	20	120,9	1,585	0,071	1,1%
	0,242	230	30	7	20	110,6	1,421	-0,093	1,0%
	0,242	230	50	7	20	122,7	1,618	0,104	1,2%
	0,242	230	40	4	20	103,5	1,613	0,099	1,1%
	0,242	230	40	10	20	131	1,447	-0,067	1,0%
	0,242	230	40	7	15	130,8	1,604	0,090	1,2%
	0,242	230	40	7	25	96,2	1,462	-0,052	1,0%
Hostacom M2 N01	0,242	250	40	7	20	114,2	2,289		2,0%
	0,242	240	40	7	20	110,6	2,234	-0,055	2,0%
	0,242	260	40	7	20	117,8	2,37	0,081	2,1%
	0,242	250	30	7	20	107,7	2,124	-0,165	1,9%
	0,242	250	50	7	20	120,8	2,469	0,180	2,2%
	0,242	250	40	4	20	101,1	2,407	0,118	2,1%
	0,242	250	40	10	20	121,2	2,172	-0,117	1,8%
	0,242	250	40	7	15	129,8	2,46	0,171	2,2%
	0,242	250	40	7	25	92,8	2,171	-0,118	1,9%

Označení vtoku	Materiál Hostacom	Vstřik. Čas [s]	Teplota taveniny [°C]	Jednotná teplota stěn formy [°C]	Dotlak [s]	Ochlazování ve formě [s]	Teplota při vyhození z formy [°C]	Max deformace tvaru (transformace)	Průměrné smrštění
B1 - Bodový vtok	PPU	0,242	230	55	7	20	81,4	1,720	1,5%
	G2N01	0,242	230	40	7	20	89,1	1,336	1,0%
	M2N01	0,242	250	40	7	20	86,3	1,983	1,8%
B2 - Bodový vtok	PPU	0,171	230	55	7	20	94,3	1,820	1,7%
	G2N01	0,171	230	40	7	20	105,4	1,375	1,1%
	M2N01	0,171	250	40	7	20	103,4	2,192	2,0%
D1 - Dvojnásobný vtok	PPU	0,242	230	55	7	20	94,1	1,938	1,6%
	G2N01	0,242	230	40	7	20	103,7	1,446	1,1%
	M2N01	0,242	250	40	7	20	102,6	2,287	2,0%
T1 - Tunelový vtok	PPU	0,242	230	55	7	20	102,7	1,967	1,7%
	G2N01	0,242	230	40	7	20	93,9	1,666	1,5%
	M2N01	0,242	250	40	7	20	111,2	2,127	1,8%



Příloha č. 2

Materiál	Vstřík. Čas [s]	Teplota taveniny [°C]	Jednotná teplota stěn formy [°C]	Dotlak [s]	Ochlazování ve formě [s]	Teplota při vyhození z formy [°C]	Max deformace tvaru [mm]	Rozdíl proti výchozímu parametru	Průměrné smrštění
Hostacom PPU x9067	1,031	230	55	7	20	71,4	2,149		1,3%
	1,031	220	55	7	20	70,6	2,133	-0,016	1,3%
	1,031	240	55	7	20	72,8	2,214	0,065	1,3%
	1,031	230	45	7	20	62,6	2,028	-0,121	1,1%
	1,031	230	65	7	20	80,9	2,352	0,203	1,4%
	1,031	230	55	4	20	65,4	2,751	0,602	1,3%
	1,031	230	55	10	20	81,8	2,044	-0,105	1,3%
	1,031	230	55	7	13	109,9	2,305	0,156	1,4%
	1,031	230	55	7	27	60,1	2,096	-0,053	1,2%
Hostacom G2 N01	1,031	230	40	7	20	76,9	2,027		0,8%
	1,031	220	40	7	20	74,9	1,791	-0,236	0,8%
	1,031	240	40	7	20	78,9	2,198	0,171	0,8%
	1,031	230	30	7	20	68,7	1,92	-0,107	0,7%
	1,031	230	50	7	20	85	2,061	0,034	0,9%
	1,031	230	40	4	20	66,4	2,218	0,191	0,9%
	1,031	230	40	10	20	91,3	1,497	-0,530	0,8%
	1,031	230	40	7	13	123,6	2,103	0,076	0,9%
	1,031	230	40	7	27	56,7	1,978	-0,049	0,7%
Hostacom M2 N01	1,031	250	40	7	20	73,7	2,431		1,6%
	1,031	240	40	7	20	72	2,312	-0,119	1,5%
	1,031	260	40	7	20	75,3	2,575	0,144	1,6%
	1,031	250	30	7	20	65,3	2,227	-0,204	1,4%
	1,031	250	50	7	20	82,1	2,642	0,211	1,7%
	1,031	250	40	4	20	63,1	2,972	0,541	1,6%
	1,031	250	40	10	20	89,2	2,349	-0,082	1,5%
	1,031	250	40	7	13	125,1	2,753	0,322	1,8%
	1,031	250	40	7	27	53,6	2,292	-0,139	1,4%

Označení vtoku	Materiál Hostacom	Vstřík. Čas [s]	Teplota taveniny [°C]	Jednotná teplota stěn formy [°C]	Dotlak [s]	Ochlazování ve formě [s]	Teplota při vyhození z formy [°C]	Max deformace tvaru (transformace)	Průměrné smrštění
B1 - Bodový vtok	PPU	1,031	230	55	7	20	71,4	2,149	1,3%
	G2N01	1,031	230	40	7	20	76,9	2,027	0,8%
	M2N01	1,031	250	40	7	20	73,7	2,431	1,6%
B2 - Bodový vtok	PPU	1,031	230	55	7	20	70,1	1,969	1,2%
	G2N01	1,031	230	40	7	20	76	1,816	0,8%
	M2N01	1,031	250	40	7	20	72,1	2,196	1,5%
D1 - Dvojnásobný vtok	PPU	0,729	230	55	7	20	71,4	2,117	1,3%
	G2N01	0,729	230	40	7	20	76,7	1,965	0,8%
	M2N01	0,729	250	40	7	20	73,3	2,420	1,5%



Příloha č. 3

Materiál	Vstřik. čas [s]	Teplota taveniny [°C]	Jednotná teplota stěn formy [°C]	Dotlak [s]	Ochlazování ve formě [s]	Teplota při vyhození z formy [°C]	Max deformace tvaru [mm]	Rozdíl proti výchozímu parametru	Průměrné smrštění
Hostacom PPU x9067	0,506	230	55	7	20	72,9	1,050		1,3%
	0,506	220	55	7	20	72,1	1,016	-0,034	1,3%
	0,506	240	55	7	20	73,7	1,101	0,051	1,3%
	0,506	230	45	7	20	64,1	0,940	-0,110	1,1%
	0,506	230	65	7	20	81,9	1,172	0,122	1,5%
	0,506	230	55	4	20	73,7	1,475	0,425	1,3%
	0,506	230	55	10	20	79,6	0,998	-0,052	1,3%
	0,506	230	55	7	14	100,4	1,137	0,087	1,4%
	0,506	230	55	7	26	64,6	1,019	-0,031	1,2%
Hostacom G2 N01	0,506	230	40	7	20	80,9	1,107		0,8%
	0,506	220	40	7	20	78,7	1,000	-0,107	0,8%
	0,506	240	40	7	20	83,1	1,186	0,079	0,8%
	0,506	230	30	7	20	72,7	1,035	-0,072	0,7%
	0,506	230	50	7	20	89	1,163	0,056	0,9%
	0,506	230	40	4	20	82	1,488	0,381	0,9%
	0,506	230	40	10	20	90,5	0,765	-0,342	0,8%
	0,506	230	40	7	14	113,9	1,140	0,033	0,9%
	0,506	230	40	7	26	67,2	1,065	-0,042	0,7%
Hostacom M2 N01	0,506	250	40	7	20	74,7	1,335		1,6%
	0,506	240	40	7	20	73,2	1,260	-0,075	1,6%
	0,506	260	40	7	20	76,9	1,401	0,066	1,6%
	0,506	250	30	7	20	66,3	1,225	-0,110	1,4%
	0,506	250	50	7	20	83,2	1,443	0,108	1,8%
	0,506	250	40	4	20	76,6	1,586	0,251	1,7%
	0,506	250	40	10	20	88	1,202	-0,133	1,6%
	0,506	250	40	7	14	113,1	1,543	0,208	1,8%
	0,506	250	40	7	26	61,4	1,231	-0,104	1,4%

Označení vtoku	Materiál Hostacom	Vstřik. Čas [s]	Teplota taveniny [°C]	Jednotná teplota stěn formy [°C]	Dotlak [s]	Ochlazování ve formě [s]	Teplota při vyhození z formy [°C]	Max deformace tvaru (transformace)	Průměrné smrštění
B1 - Bodový vtok	PPU	0,506	230	55	7	20	72,9	1,050	1,3%
	G2N01	0,506	230	40	7	20	80,9	1,107	0,8%
	M2N01	0,506	250	40	7	20	74,7	1,335	1,6%
D1 - Dvojnásobný vtok	PPU	0,358	230	55	7	20	73	1,009	1,3%
	G2N01	0,358	230	40	7	20	80,9	1,048	0,8%
	M2N01	0,358	250	40	7	20	74,9	1,113	1,6%



Příloha č. 4

Materiál	Vstřik. čas [s]	Teplota taveniny [°C]	Jednotná teplota stěn formy [°C]	Dotlak [s]	Ochlazování ve formě [s]	Teplota při vyhození z formy [°C]	Max deformace tvaru [mm]	Rozdíl proti výchozímu parametru	Průměrné smrštění
Hostacom PPU x9067	0,506	230	55	7	20	70,3	1,581		1,3%
	0,512	220	55	7	20	68,9	1,519	-0,062	1,3%
	0,512	240	55	7	20	71,6	1,644	0,063	1,3%
	0,512	230	45	7	20	60,9	1,574	-0,007	1,1%
	0,512	230	65	7	20	79,6	1,626	0,045	1,5%
	0,512	230	55	4	20	65,3	1,749	0,168	1,3%
	0,512	230	55	10	20	76,8	1,486	-0,095	1,3%
	0,512	230	55	7	14	98,9	1,636	0,055	1,4%
	0,512	230	55	7	26	60,4	1,564	-0,017	1,2%
Hostacom G2 N01	0,512	230	40	7	20	76,4	1,602		0,8%
	0,512	220	40	7	20	74,1	1,546	-0,056	0,8%
	0,512	240	40	7	20	78,4	1,692	0,090	0,8%
	0,512	230	30	7	20	68	1,542	-0,060	0,7%
	0,512	230	50	7	20	84,6	1,703	0,101	0,9%
	0,512	230	40	4	20	66,3	1,957	0,355	0,9%
	0,512	230	40	10	20	89,1	1,500	-0,102	0,8%
	0,512	230	40	7	14	113,7	1,685	0,083	0,9%
	0,512	230	40	7	26	58,4	1,573	-0,029	0,7%
Hostacom M2 N01	0,512	250	40	7	20	72,6	1,484		1,6%
	0,512	240	40	7	20	70,8	1,459	-0,025	1,6%
	0,512	260	40	7	20	74,4	1,505	0,021	1,6%
	0,512	250	30	7	20	63,9	1,458	-0,026	1,4%
	0,512	250	50	7	20	81,3	1,511	0,027	1,8%
	0,512	250	40	4	20	62,9	1,869	0,385	1,6%
	0,512	250	40	10	20	86	1,465	-0,019	1,6%
	0,512	250	40	7	14	112,5	1,572	0,088	1,8%
	0,512	250	40	7	26	84,8	1,435	-0,049	1,4%

Označení vtoku	Materiál Hostacom	Vstřik. Čas [s]	Teplota taveniny [°C]	Jednotná teplota stěn formy [°C]	Dotlak [s]	Ochlazování ve formě [s]	Teplota při vyhození z formy [°C]	Max deformace tvaru (transformace)	Průměrné smrštění
B1 - Bodový vtok	PPU	0,512	230	55	7	20	70,3	1,581	1,3%
	G2N01	0,512	230	40	7	20	76,4	1,602	0,8%
	M2N01	0,512	250	40	7	20	72,6	1,484	1,6%
D1 - Dvojnásobný vtok	PPU	0,362	230	55	7	20	69,6	1,462	1,3%
	G2N01	0,362	230	40	7	20	75,8	1,503	0,8%
	M2N01	0,362	250	40	7	20	71,8	1,517	1,6%
D1 - Dvojnásobný vtok	PPU	0,513	230	55	7	20	87	1,423	1,3%
	G2N02	0,513	230	40	7	20	108	1,672	0,8%
	M2N02	0,513	250	40	7	20	89,9	1,508	1,5%



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 sb. O právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do její skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2013

.....



Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 24. 5. 2013

.....